ВСЕЛЕННАЯ ЖИЗНЬ РАЗУМ

И.С ШКЛОВСКИЙ



Библиотечная серия

И. С. ШКЛОВСКИЙ

ВСЕЛЕННАЯ ЖИЗНЬ РАЗУМ



ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1976

524
Ш 66
УДК 523.1 + 523.07

Иосиф Самуилович Шкловский

ВСЕЛЕННАЯ, ЖИЗНЬ, РАЗУМ

М., 1976 г., 368 стр. с илл.

Редактор *М. М. Дагаев*

Техн. редактор *И. Ш. Аксельрод*

Корректоры *Е. А. Белицкая, Л. С. Сомова*

Сдано в набор 4/VIII 1975 г. Подписано к печати 14/I 1976 г. Бумага $60 \times 90^1/_{16}$. Физ. печ. л. 23. Условн. печ. л. 23. Уч.-изд. л. 23,97. Тираж 200 000 экз. Т-01839. Цена книги 1 р. 08 к. Заказ № 3193

Издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-54, Валовая, 28

Ш $\frac{20605-019}{053(02)\text{-}76}$ 179-76

Предисловие к четвертому изданию

Четвертое издание книги «Вселенная, жизнь, разум» отличается добавлением некоторых новых важных результатов, особенно в области исследования планет Солнечной системы с помощью автоматических межпланетных станций. Я выражаю свою особенную признательность проф. В. И. Морозу за ценную помощь.

Предисловие к третьему изданию

Со времени выхода в свет второго издания этой книги прошло почти восемь лет. За это время были достигнуты огромные успехи в исследовании и освоении ближнего космического пространства. Пожалуй, наиболее впечатляющими достижениями были успешная работа советских автоматических аппаратов на Луне и высадка американских космонавтов на ее поверхности. В области фундаментальных астрономических исследований минувшие годы ознаменовались по крайней мере двумя открытиями огромной важности. Речь идет об открытии космологического реликтового излучения, позволившем «заглянуть» в далекое прошлое нашей эволюционирующей Вселенной, и об открытии «пульсаров», оказавшихся нейтронными звездами. Эти выдающиеся открытия следовало отразить в нашей книге, что и было сделано.

Астрономия обогатилась и другими открытиями большой важности — например, были обнаружены космические мазеры огромной мощности по-видимому, связанные с процессами образования звезд и планет из диффузной межзвездной среды.

Короче говоря, необходимо было привести эту книгу в соответствие с новейшими достижениями науки в этой области.

Осенью 1971 г. на Бюраканской обсерватории Академии наук Армянской ССР состоялась первая совместная советско-американская конференция по проблеме связи с внеземными цивилизациями. Так как эта проблема для нашей книги является центральной, необходимо было отразить основные результаты этой конференции. По возможности, мы это попытались сделать.

Автор этой книги полагает, что она будет полезной всем любителям астрономии, а также школьникам старших классов, где изучается астрономия, и студентам педвузов и университетов, не специализирующимся в области астрономии. Во всяком случае в книге содержится попытка в доступной и в то же время достаточно серьезной и (хочется верить) не очень скучной форме рассказать о современном состоянии астрономии и о месте Человека во Вселенной.

Автор выражает свою глубокую признательность Н. С. Кардашеву, В. И. Морозу и Л. М. Мухину за помощь при подготовке третьего издания этой книги.

Введение

Представления о том, что разумная жизнь существует не только на нашей планете Земле, но и широко распространена на множестве других миров, возникли в незапамятные времена, когда астрономия была еще в зачаточном состоянии. По-видимому, корни этих представлений восходят к временам первобытных культов, «оживлявших» окружавшие людей предметы и явления. Туманные идеи о множественности обитаемых миров содержатся в буддийской религии, где они связываются с идеалистической идеей переселения душ. Согласно этому религиозному учению Солнце, Луна и неподвижные звезды являются теми местами, куда переселяются души умерших людей, прежде чем они достигнут состояния Нирваны...

По мере развития астрономии идеи о множественности обитаемых миров становились более конкретными и научными. Большинство греческих философов, как материалистов, так и идеалистов, считали, что наша Земля никоим образом не является единственным обиталищем разумной жизни.

Приходится только удивляться гениальности догадок греческих философов, если учесть уровень развития науки тех времен. Так, например, основатель ионийской философской школы Фалес учил, что звезды состоят из такого же вещества, что и Земля. Анаксимандр утверждал, что миры возникают и разрушаются. Анаксагор, один из первых приверженцев гелиоцентрической системы, считал, что Луна обитаема. Согласно Анаксагору, повсюду рассеяны невидимые «зародыши жизни», являющиеся причиной возникновения всего живого. На протяжении последующих веков вплоть до настоящего времени подобные идеи «панспермии» (извечность жизни) многократно высказывались различными учеными и философами. Идеи «зародышей жизни» были приняты христианской религией вскоре после ее возникновения.

Материалистическая философская школа Эпикура учила о множественности обитаемых миров, причем считала эти миры вполне подобными нашей Земле. Например, эпикуреец Митродор

утверждал, что «считать Землю единственным населенным миром в беспредельном пространстве было бы такой же вопиющей нелепостью, как утверждать, что на громадном засеянном поле мог бы вырасти только один пшеничный колос». Интересно, что сторонники этого учения под «мирами» подразумевали не только планеты, но и множество других небесных тел, разбросанных в безграничных просторах Вселенной.

Замечательный римский философ-материалист Лукреций Кар был пламенным приверженцем идеи о множественности обитаемых миров и безграничности их числа. В своей знаменитой поэме «О природе вещей» он писал: «Весь этот видимый мир вовсе не единственный в природе, и мы должны верить, что в других областях пространства имеются другие земли с другими людьми и другими животными». Любопытно отметить, что Лукреций Кар совершенно не понимал природы звезд — он считал их светящимися земными испарениями... Поэтому свои миры, населенные разумными существами, он помещал за пределами видимой Вселенной...

В течение последующих полутора тысяч лет господствовавшая христианская религия, опираясь на учение Птолемея, считала Землю средоточием Вселенной. В таких условиях ни о каком развитии представлений о множественности обитаемых миров не могло быть и речи. Крушение птолемеевой системы, связанное с именем гениального польского астронома Николая Коперника, впервые показало человечеству его истинное место во Вселенной. Коль скоро Земля была «низведена» до одной из рядовых планет, обращающихся вокруг Солнца, мысль о том, что и на других планетах возможна жизнь, получила некоторое научное обоснование.

Первые телескопические наблюдения Галилея, открывшие новую эпоху в астрономии, поражали воображение современников. Стало ясно, что планеты — это небесные тела, во многих отношениях похожие на Землю. Естественно возникал вопрос: если на Луне есть горы и долины, почему бы не считать, что там есть и города, населенные разумными существами? И почему бы не считать, что наше Солнце не является единственным светилом, окруженным сонмом планет? Эти смелые идеи в ясной и недвусмысленной форме высказывал великий итальянский мыслитель шестнадцатого века Джордано Бруно. Он писал: «...Существуют бесчисленные солнца, бесчисленные земли, которые кружатся вокруг своих солнц, подобно тому как наши семь планет кружатся вокруг нашего Солнца... На этих мирах обитают живые существа».

Католическая церковь жестоко расправилась с Джордано Бруно. Судом святейшей инквизиции он был признан неисправимым еретиком и сожжен заживо в Риме на площади Цветов 17 февраля 1600 г. Это преступление церкви против науки было далеко не последним. Вплоть до конца XVII в. католическая (а также протестантская) церковь оказывала яростное сопротивление новой, гелиоцентрической системе мира. Постепенно, однако, безнадеж-

ность открытой борьбы церкви против нового мировоззрения становилась ясной даже самим церковникам. Они стали приспосабливаться к новым условиям. И сейчас богословы уже признают возможность существования мыслящих существ на других планетах, считая, что это не противоречит основным догмам религии...

Во второй половине XVII и в XVIII в. рядом ученых, философов и писателей было написано много книг, посвященных проблеме множественности обитаемых миров. Назовем имена Сирано де Бержерака, Фонтенеля, Гюйгенса, Вольтера. Эти сочинения, иногда блестящие по форме и содержащие глубокие мысли (особенно это относится к Вольтеру), были чисто умозрительными.

Гениальный русский ученый М. В. Ломоносов был убежденным сторонником идеи о множественности обитаемых миров. Тех же взглядов придерживались такие великие философы и ученые, как Кант, Лаплас, Гершель. Можно сказать, что эта идея получила повсеместное распространение, и почти не было ученых или мыслителей, которые выступали бы против нее. Лишь отдельные голоса предостерегали против представления, что жизнь, в том числе разумная, распространена на всех планетах. Укажем, например, на книгу английского ученого Уэйвелла, вышедшую в 1853 г. Уэйвелл довольно смело для того времени (как меняются времена!) высказал утверждение, что далеко не все планеты могут служить прибежищем жизни. Например, он указывает, что большие планеты Солнечной системы состоят из «воды, газов и паров» и поэтому непригодны для жизни. В равной степени непригодны для жизни планеты, слишком близко расположенные к Солнцу, «потому что благодаря большому количеству теплоты вода не может удержаться на их поверхности». Он доказывает, что на Луне не может быть никакой жизни — идея, которая весьма медленно входила в сознание людей.

Даже в конце XIX в. известный астроном В. Пикеринг убежденно доказывал, что на поверхности Луны наблюдаются массовые миграции насекомых, объясняющие наблюдаемую изменчивость отдельных деталей лунного ландшафта... Заметим, что в наше время эта гипотеза применительно к Марсу возродилась снова...

До какой степени общеприняты были в XVIII в. и первой половине XIX в. представления о повсеместном распространении разумной жизни, видно на следующем примере. Знаменитый английский астроном В. Гершель, считал, что Солнце обитаемо, а солнечные пятна — это просветы в ослепительно ярких облаках, окутывающих темную поверхность нашего светила. Через эти «просветы» воображаемые жители Солнца могут любоваться звездным небом... Кстати укажем, что великий Ньютон также считал Солнце обитаемым.

Во второй половине XIX в. большую популярность приобрела книга Фламмариона «О множественности обитаемых миров». Достаточно сказать, что за 20 лет она выдержала во Франции 30 изданий! Эта книга была переведена на иностранные языки. В этом

произведении, а также в других своих сочинениях Фламмарион стоит на идеалистических позициях, считая, что жизнь — цель образования планет. Книги Фламмариона, написанные очень темпераментно, живым, несколько вычурным языком, производили большое впечатление на современников. Очень странное ощущение возникает, когда их читаешь теперь, в наши дни. Поражает несоответствие между мизерным количеством знаний о природе небесных светил (что определялось тогдашним уровнем только начинавшей развиваться астрофизики) и категоричностью суждений о множественности обитаемых миров... Фламмарион больше апеллирует к эмоциям читателей, чем к их логическому мышлению.

В конце XIX в. и в XX в. большое распространение получили различные модификации старой гипотезы панспермии. Согласно этой концепции жизнь во Вселенной существует извечно. Живая субстанция не возникает каким-нибудь закономерным образом из неживой, а переносится тем или иным способом от одной планеты к другой.

Так, например, согласно Сванте Аррениусу частицы живого вещества — споры или бактерии, осевшие на малых пылинках, силой светового давления переносятся с одной планеты на другую, сохраняя свою жизнеспособность. Если на какой-нибудь планете условия оказываются подходящими, попавшие туда споры прорастают и дают начало эволюции жизни на ней.

Хотя возможность переноса жизнеспособных спор с одной планеты на другую в принципе нельзя считать исключенной, трудно сейчас серьезно говорить о таком механизме переноса жизни от одной звездной системы к другой (см. гл. 16). Аррениус считал, например, что под влиянием светового давления пылинки могут двигаться с огромной скоростью. Однако наши современные знания о природе межзвездной среды скорее всего исключают такую возможность. Наконец, сам по себе вывод об извечности жизни во Вселенной решительно противоречит существующим сейчас представлениям об эволюции звезд и галактик. Согласно этим представлениям, достаточно надежно обоснованным большим количеством наблюдений, в прошлом Вселенная была чисто водородной или водородно-гелиевой. По мере эволюции Вселенной происходит непрерывное ее «обогащение» тяжелыми элементами (см. гл. 7), которые совершенно необходимы для всех мыслимых форм живой материи.

Далее, из наблюдаемого «красного смещения» галактик следует, что в прошлом (10—15 млрд. лет назад) условия во Вселенной были таковы, что существование жизни было маловероятно (см. гл. 6). Все это означает, что жизнь могла появиться в определенных, благоприятных для ее развития областях Вселенной лишь на некотором этапе эволюции последней. Тем самым основное предположение гипотезы панспермии оказывается неправильным.

Пламенным сторонником идеи о множественности миров, населенных разумными существами, был замечательный русский

ученый, основатель астронавтики К. Э. Циолковский. Приведем только несколько его высказываний по этому вопросу: «Вероятно ли, чтобы Европа была населена, а другая часть света нет? Может ли быть один остров с жителями, а другие — без них..?» И далее: «...Все фазы развития живых существ можно видеть на разных планетах. Чем было человечество несколько тысяч лет тому назад и чем оно будет по истечении нескольких миллионов лет — все можно отыскать в планетном мире...» Если первая цитата Циолковского по существу повторяет высказывания античных философов, то во второй содержится новая важная мысль, получившая впоследствии развитие. Мыслители и писатели прошлых веков представляли себе цивилизации на других планетах в социальном и научно-техническом отношениях вполне подобными современной им земной цивилизации. Циолковский справедливо указал на огромную разницу уровней цивилизации на разных мирах. Все же следует заметить, что высказывания нашего замечательного ученого по этому вопросу не могли тогда еще быть подкреплены выводами науки.

Развитие представлений о множественности обитаемых миров неразрывно связано с развитием космогонических гипотез. Так, например, в первой трети XX столетия, когда господствовала космогоническая гипотеза Джинса, согласно которой планетная система Солнца образовалась в результате маловероятной космической катастрофы («почти столкновение» двух звезд), большинство ученых считало, что жизнь во Вселенной — редчайшее явление. Представлялось крайне маловероятным, чтобы в нашей звездной системе — Галактике, насчитывающей свыше 150 млрд. звезд, хотя бы у одной (помимо нашего Солнца) была семья планет. Крушение космогонической гипотезы Джинса в тридцатых годах этого столетия и бурное развитие астрофизики подвели нас вплотную к выводу, что планетных систем в Галактике огромное количество, а наша Солнечная система не столько исключение, сколько правило в мире звезд. Все же это весьма вероятное предположение пока еще строго не доказано (см. гл. 10).

Развитие звездной космогонии также имело и имеет решающее значение для проблемы возникновения и развития жизни во Вселенной. Уже теперь мы знаем, какие звезды молодые, какие старые, как долго звезды излучают на том почти постоянном уровне, который необходим для поддержания жизни на обращающихся вокруг них планетах. Наконец, звездная космогония дает далекий прогноз будущего нашего Солнца, что имеет, конечно, решающее значение для судеб жизни на Земле. Таким образом, достижения астрофизики за последние 20—25 лет сделали возможным н а у ч н ы й подход к проблеме множественности обитаемых миров.

Другое важнейшее направление «атаки» этой проблемы — биологические и биохимические исследования. Проблема жизни — в значительной степени химическая проблема. Каким способом и при каких внешних условиях мог происходить синтез сложных

органических соединений, итогом которого было появление на планете первых «крупиц» живого вещества? На протяжении последних десятилетий биохимики существенно продвинули вперед эту проблему. Здесь они прежде всего опираются на результаты лабораторных экспериментов. Все же, как представляется автору этой книги, только в самые последние годы появилась возможность подойти к вопросу о происхождении жизни на Земле, а следовательно и на других планетах. Только сейчас начинает приоткрываться завеса над «святая святых» живой субстанции — наследственностью.

Выдающиеся успехи генетики и прежде всего выяснение «кибернетического смысла» дезоксирибонуклеиновой и рибонуклеиновой кислот настоятельно требуют нового определения самого основного понятия «жизнь». Все более ясным становится положение, что проблема происхождения жизни в значительной степени проблема генетическая. Огромные успехи новой науки — молекулярной биологии — позволяют надеяться, что эта важнейшая проблема естествознания будет решена в близком будущем.

Принципиально новый этап в развитии представлений о множественности обитаемых миров начался с запуска в нашей стране первого искусственного спутника Земли. Меньше чем за двадцать лет, истекших после памятного дня 4 октября 1957 г., были достигнуты поразительные успехи в овладении и изучении ближайших к нашей планете областей космического пространства. Апофеозом этих успехов были триумфальные полеты советских и американских космонавтов. Люди как-то вдруг «весомо, грубо, зримо» почувствовали, что они населяют очень маленькую планетку, окруженную безграничным космическим пространством. Конечно, всем им в школах преподавали (чаще всего довольно плохо) астрономию, и они «теоретически» знали место Земли в космосе. Однако в своей конкретной деятельности люди руководствовались, если так можно выразиться, «практическим геоцентризмом». Поэтому нельзя даже переоценить переворот в сознании людей, которым ознаменовалось начало новой эры в истории человечества — эры непосредственного изучения и, в перспективе, покорения космоса.

Вопрос о жизни на других мирах, бывший до недавнего времени чисто абстрактным, сейчас приобретает реальное практическое значение. В ближайшие годы он будет, если говорить о планетах Солнечной системы, решен экспериментально. Специальные приборы — индикаторы жизни — будут посланы на поверхности планет и дадут уверенный ответ: есть ли там жизнь и если есть, то какая. Недалеко то время, когда астронавты высадятся на Марсе, а может быть, даже на загадочной негостеприимной Венере, и смогут изучать там жизнь (если она, конечно, есть) теми же методами, что и биологи на Земле.

Как выражение огромного интереса широких слоев народа к проблеме обитаемости других миров следует рассматривать появ-

ление ряда работ крупных физиков и астрономов, в которых строго научно рассматривается проблема установления связи с разумными существами, населяющими другие планетные системы. Уже состоялись три научные конференции, посвященные внеземным цивилизациям,— в США и в нашей стране. При разработке этой увлекательной проблемы ученые не могут замыкаться в рамки своей специальности. С необходимостью надо строить те или иные гипотезы о путях развития цивилизаций в перспективе тысяч и миллионов лет. А это, право же, нелегкая и не совсем определенная задача... И тем не менее ее надо решать, так как она имеет совершенно конкретный смысл, а главное, правильность решения может быть в принципе проверена критерием практики.

Цель этой книги — ознакомить широкие круги читателей, интересующихся увлекательной проблемой жизни во Вселенной, с современным состоянием этой проблемы. Мы подчеркиваем — «с современным», так как развитие наших представлений о множественности обитаемых миров сейчас идет достаточно быстро. Кроме того, в отличие от других книг, посвященных этой проблеме (например, А. И. Опарин и В. Г. Фесенков «Жизнь во Вселенной» и Г. Спенсер Джонс «Жизнь на других мирах»), где преимущественно рассматривается вопрос о жизни только на планетах Солнечной системы — Марсе и Венере, мы уделили достаточно много внимания другим планетным системам. Наконец, анализ возможностей разумной жизни во Вселенной и проблемы установления связи между цивилизациями, разделенными межзвездными расстояниями, насколько нам известно, ни в одной книге не проводился.

Эта книга состоит из трех частей. Часть 1 содержит астрономические сведения, необходимые для понимания современных представлений об эволюции галактик, звезд и планетных систем. Во 2-й части рассматриваются условия возникновения жизни на какой-нибудь планете. Кроме того, здесь обсуждается вопрос об обитаемости Марса, Венеры и других планет Солнечной системы. В заключение этой части критически рассматриваются современные варианты гипотезы панспермии. Наконец, часть 3 содержит анализ возможности разумной жизни в отдельных областях Вселенной. Особое внимание обращается на проблему установления контактов между цивилизациями разных планетных систем. По своему характеру 3-я часть книги отличается от первых двух, которые излагают конкретные итоги и результаты развития науки в соответствующих областях. По необходимости в этой части преобладает гипотетический элемент — ведь пока мы еще не установили контактов с инопланетными цивилизациями и, в сущности говоря, неизвестно, когда установим и установим ли вообще... Но это ни в коей степени не означает, что эта часть лишена научного содержания и является чистой фантастикой. Напротив, именно здесь анализируются, и притом по возможности строго, новейшие достижения науки и техники, которые в будущем могут привести к успеху. Вместе с тем эта часть

книги позволяет дать некоторое реальное представление о мощи человеческого разума даже на современном этапе его развития. Ведь уже сейчас человечество своей активной деятельностью стало фактором космического значения. Чего же можно ожидать через несколько столетий?

В самое последнее время, например, американский физик О'Нейл с группой сотрудников выдвинул предложение о сооружении огромного искусственного спутника, который должен быть по частям собран на орбите Луны в области так называемой «точки либрации», где притяжение Земли и Луны уравновешивается. Этот спутник должен представлять собой гигантский тор («бублик») диаметром 1,5 *км*. Вращение его должно создать в нем искусственное «поле тяжести», равное земному. Внутри спутника будут жить 10 000 человек, так что он будет, по существу, «колонией» Земли, вынесенной в космос. Строительство этой космической колонии и ее связь с Землей должны быть обеспечены специальными спутниками многоразового использования («челноками»). На спутнике будут находиться сложные предприятия — фабрики и заводы, размещение которых на Земле по разным причинам нежелательно. Там будет развитое производство продуктов питания, так что колония будет автономной. Наконец, этот спутник будет поставлять на землю огромное количество солнечной энергии, что сделает сооружение этого объекта (стоимостью около 100 миллиардов долларов, срок сооружения 15 лет) рентабельным. Существенно, что проект О'Нейла представляет собой строгий инженерный расчет, основывающийся только на современной технологии. Остается добавить, что знаменитый проект «Аполло» (высадка человека на Луне) стоил 30 миллиардов долларов, а бесславная вьетнамская война обошлась американскому народу в 130 миллиардов долларов.

Часть первая

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ

И страшным, страшным креном
К другим каким-нибудь
Неведомым вселенным
Повернут Млечный Путь...

Б. Пастернак

1

Масштабы Вселенной и ее строение

Если бы астрономы-профессионалы постоянно и ощутимо представляли себе чудовищную величину космических расстояний и интервалов времени эволюции небесных светил, вряд ли они могли успешно развивать науку, которой посвятили свою жизнь. Привычные нам с детства пространственно-временные масштабы настолько ничтожны по сравнению с космическими, что когда это доходит до сознания, то буквально захватывает дух. Занимаясь какой-нибудь проблемой космоса, астроном либо решает некую математическую задачу (это чаще всего делают специалисты по небесной механике и астрофизики-теоретики), либо занимается усовершенствованием приборов, либо же строит в своем воображении, сознательно или бессознательно, некоторую небольшую модель исследуемой космической системы. При этом основное значение имеет правильное понимание относительных размеров изучаемой системы (например, отношение размеров деталей данной космической системы, отношение размеров этой системы и других, похожих или непохожих на нее, и т. д.) и интервалов времени (например, отношение скорости протекания данного процесса к скорости протекания какого-либо другого).

Автор этой книги довольно много занимался, например, солнечной короной и Галактикой. И всегда они представлялись ему неправильной формы сфероидальными телами примерно одинаковых размеров — что-нибудь около 10 *см*... Почему 10 *см*? Этот образ возник подсознательно, просто потому, что слишком часто, раздумывая над тем или иным вопросом солнечной или галактической физики, автор чертил в обыкновенной тетради (в клеточку) очертания предметов своих размышлений. Чертил, стараясь придерживаться масштабов явлений. По одному очень любопытному вопросу, например, можно было провести интересную аналогию между солнечной короной и Галактикой (вернее, так называемой «галактической короной»). Конечно, автор этой книги очень хорошо, так сказать, «умом» знал, что размеры галактической короны

в сотни миллиардов раз больше, чем размеры солнечной. Но он спокойно забывал об этом. А если в ряде случаев большие размеры галактической короны приобретали некоторое принципиальное значение (бывало и так), это учитывалось формально-математически. И все равно зрительно обе «короны» представлялись одинаково маленькими...

Если бы автор в процессе этой работы предавался философским размышлениям о чудовищности размеров Галактики, о невообразимой разреженности газа, из которого состоит галактическая корона, о ничтожности нашей малютки-планеты и собственного бытия и о прочих других не менее правильных предметах, работа над проблемами солнечной и галактической корон прекратилась бы автоматически...

Пусть простит мне читатель это «лирическое отступление». Я не сомневаюсь, что и у других астрономов возникали такие же мысли, когда они работали над своими проблемами. Мне кажется, что иногда бывает полезно поближе познакомиться с «кухней» научной работы...

Если мы хотим на страницах этой книги обсуждать волнующие вопросы о возможности разумной жизни во Вселенной, то прежде всего нужно будет составить правильное представление о ее пространственно-временных масштабах. Еще сравнительно недавно земной шар представлялся человеку огромным. Свыше трех лет потребовалось отважным сподвижникам Магеллана, чтобы 450 лет тому назад ценой неимоверных лишений совершить первое кругосветное путешествие. Немногим более 100 лет прошло с того времени, когда находчивый герой фантастического романа Жюля Верна совершил, пользуясь последними достижениями техники того времени, путешествие вокруг света за 80 суток... И прошло всего лишь немногим больше пятнадцати лет с тех памятных для всего человечества дней, когда первый советский космонавт Гагарин облетел на легендарном космическом корабле «Восток» земной шар за 89 мин. И мысли людей невольно обратились к огромным пространствам космоса, в которых затерялась старая небольшая планета Земля...

Наша Земля — одна из планет Солнечной системы. По сравнению с другими планетами она расположена довольно близко к Солнцу, хотя и не является самой близкой. Среднее расстояние от Солнца до Плутона — самой далекой планеты Солнечной системы — в 40 раз больше среднего расстояния от Земли до Солнца. В настоящее время неизвестно, имеются ли в Солнечной системе планеты, еще более удаленные от Солнца, чем Плутон. Можно только утверждать, что если такие планеты и есть, то они сравнительно невелики. Условно размеры Солнечной системы можно принять равными 50—100 астрономическим единицам *), или

*) Астрономическая единица — среднее расстояние от Земли до Солнца, равное 149 600 тыс. *км*.

около 10 млрд. *км*. По нашим земным масштабам это очень большая величина, примерно в 1 миллион раз превосходящая диаметр Земли.

Мы можем более наглядно представить относительные масштабы Солнечной системы следующим образом. Пусть Солнце изображается биллиардным шаром диаметром 7 *см*. Тогда ближайшая к Солнцу

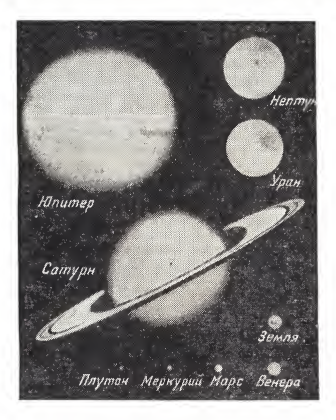


Рис. 1. Планеты Солнечной системы.

планета — Меркурий находится от него в этом масштабе на расстоянии 280 *см*, Земля — на расстоянии 760 *см*, гигантская планета Юпитер удалена на расстояние около 40 *м*, а самая дальняя планета — во многих отношениях пока еще загадочный Плутон — на расстояние около 300 *м*. Размеры земного шара в этом масштабе несколько больше 0,5 *мм*, лунный диаметр — немногим больше 0,1 *мм*, а орбита Луны имеет диаметр около 3 *см*.

Даже самая близкая к нам звезда — Проксима Центавра удалена от нас на такое большое расстояние, что по сравнению с ним

межпланетные расстояния в пределах Солнечной системы кажутся сущими пустяками. Читатели, конечно, знают, что для измерения межзвездных расстояний такой единицей длины, как километр, почти никогда не пользуются. Эта единица измерений (так же как сантиметр, дюйм и др.) возникла из потребностей практической деятельности человечества на Земле. Она совершенно непригодна для оценки космических расстояний, слишком больших по сравнению с километром.

В популярной литературе, а иногда и в научной, для оценки межзвездных и межгалактических расстояний как единицу измерения употребляют «световой год». Это такое расстояние, которое свет, двигаясь со скоростью 300 тыс. *км/сек*, проходит за год. Легко убедиться, что световой год равен $9{,}46 \cdot 10^{12}$ *км*, или около 10 000 млрд. *км*.

В научной литературе для измерения межзвездных и межгалактических расстояний обычно применяется особая единица, получившая название «парсек». 1 парсек (*пс*) равен 3,26 светового года. Парсек определяется как такое расстояние, с которого радиус земной орбиты виден под углом в 1 сек. дуги. Это очень маленький угол. Достаточно сказать, что под таким углом монета в одну копейку видна с расстояния в 3 *км*.

Ни одна из звезд — ближайших соседок Солнечной системы — не находится к нам ближе, чем на 1 *пс*. Например, упомянутая Проксима Центавра удалена от нас на расстояние около 1,3 *пс*. В том масштабе, в котором мы изобразили Солнечную систему, это соответствует 2 тыс. *км*. Все это хорошо иллюстрирует большую изолированность нашей Солнечной системы от окружающих звездных систем; некоторые из этих систем, возможно, имеют с ней много сходства.

Но окружающие Солнце звезды и само Солнце составляют лишь ничтожно малую часть гигантского коллектива звезд и туманностей, который называется «Галактикой». Это скопление звезд мы видим в ясные безлунные ночи как пересекающую небо полосу Млечного Пути. Галактика имеет довольно сложную структуру. В первом, самом грубом приближении мы можем считать, что звезды и туманности, из которых она состоит, заполняют объем, имеющий форму сильно сжатого эллипсоида вращения. Часто в популярной литературе форму Галактики сравнивают с двояковыпуклой линзой. На самом деле все обстоит значительно сложнее, и нарисованная картина является слишком грубой. В действительности оказывается, что разные типы звезд совершенно по-разному концентрируются к центру Галактики и к ее «экваториальной плоскости». Например, газовые туманности, а также очень горячие массивные звезды сильно концентрируются к экваториальной плоскости Галактики (на небе этой плоскости соответствует большой круг, проходящий через центральные части Млечного Пути). Вместе с тем они не обнаруживают значительной концентрации к галактическому центру. С другой стороны, некоторые типы звезд и звезд-

ных скоплений (так называемые «шаровые скопления», рис. I) *) почти никакой концентрации к экваториальной плоскости Галактики не обнаруживают, но зато характеризуются огромной концентрацией по направлению к ее центру. Между этими двумя крайними типами пространственного распределения (которое астрономы называют «плоское» и «сферическое») находятся все промежуточные случаи. Все же оказывается, что основная часть звезд в Галактике находится в гигантском диске, диаметр которого около 100 тыс. световых лет, а толщина около 1500 световых лет. В этом диске насчитывается несколько больше 150 млрд. звезд самых различных типов. Наше Солнце — одна из этих звезд, находящаяся на периферии Галактики вблизи от ее экваториальной плоскости (точнее, «всего лишь» на расстоянии около 30 световых лет — величина достаточно малая по сравнению с толщиной звездного диска).

Расстояние от Солнца до ядра Галактики (или ее центра) составляет около 30 тыс. световых лет. Звездная плотность в Галактике весьма неравномерна. Выше всего она в области галактического ядра, где, по последним данным, достигает 2 тыс. звезд на кубический парсек, что почти в 20 тыс. раз больше средней звездной плотности в окрестностях Солнца **). Кроме того, звезды имеют тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. Хорошим примером такого скопления являются Плеяды, которые видны на нашем зимнем небе (рис. II).

В Галактике имеются и структурные детали гораздо больших масштабов. Исследованиями последних лет доказано, что туманности, а также горячие массивные звезды распределены вдоль ветвей спирали. Особенно хорошо спиральная структура видна у других звездных систем — галактик (с маленькой буквы, в отличие от нашей звездной системы — Галактики). Одна из таких галактик изображена на рис. III. Установить спиральную структуру Галактики, в которой мы сами находимся, оказалось в высшей степени трудно.

Звезды и туманности в пределах Галактики движутся довольно сложным образом. Прежде всего, они участвуют во вращении Галактики вокруг оси, перпендикулярной к ее экваториальной плоскости. Это вращение не такое, как у твердого тела: различные участки Галактики имеют различные периоды вращения. Так, Солнце и окружающие его в огромной области размерами в несколько сотен световых лет звезды совершают полный оборот за время около 200 млн. лет. Так как Солнце вместе с семьей планет существует, по-видимому, около 5 млрд. лет, то за время своей эволюции (от рождения из газовой туманности до нынешнего состояния) оно совершило примерно 25 оборотов вокруг оси вращения Галактики. Мы можем сказать, что возраст Солнца — всего лишь 25 «галактических лет», скажем прямо — возраст цветущий...

*) Рисунки в римской нумерации см. на вклейках в конце книги.

**) В самом центре галактического ядра в области поперечником в 1 *пс* находится, по-видимому, несколько миллионов звезд.

Скорость движения Солнца и соседних с ним звезд по их почти круговым галактическим орбитам достигает 250 *км/сек* *). На это регулярное движение вокруг галактического ядра накладываются хаотические, беспорядочные движения звезд. Скорости таких движений значительно меньше — порядка 10—50 *км/сек*, причем у объектов разных типов они различны. Меньше всего скорости у горячих массивных звезд (6—8 *км/сек*), у звезд солнечного типа они около 20 *км/сек*. Чем меньше эти скорости, тем более «плоским» является распределение данного типа звезд.

В том масштабе, которым мы пользовались для наглядного представления Солнечной системы, размеры Галактики будут составлять 60 млн. *км* — величина, уже довольно близкая к расстоянию от Земли до Солнца. Отсюда ясно, что по мере проникновения во все более удаленные области Вселенной этот масштаб уже не годится. Поэтому мы примем другой масштаб. Мысленно уменьшим земную орбиту до размеров самой внутренней орбиты атома водорода в классической модели Бора. Напомним, что радиус этой орбиты равен $0{,}53 \cdot 10^{-8}$ *см*. Тогда ближайшая звезда будет находиться на расстоянии приблизительно 0,014 *мм*, центр Галактики — на расстоянии около 10 *см*, а размеры нашей звездной системы будут около 35 *см*. В нашем новом масштабе диаметр Солнца будет иметь микроскопические размеры: 0,0046 Å (ангстрем — единица длины, равная 10^{-8} *см*).

Мы уже подчеркивали, что звезды удалены друг от друга на огромные расстояния и тем самым практически изолированы. В частности, это означает, что звезды почти никогда не сталкиваются друг с другом, хотя движение каждой из них определяется полем силы тяготения, создаваемым всеми звездами в Галактике. Если мы будем рассматривать Галактику как некоторую область, наполненную газом, причем роль газовых молекул и атомов играют звезды, то мы должны считать этот газ крайне разреженным. В окрестностях Солнца среднее расстояние между звездами примерно в 10 млн. раз больше, чем средний диаметр звезд. Между тем при нормальных условиях в обычном воздухе среднее расстояние между молекулами всего лишь в несколько десятков раз больше размеров последних. Чтобы достигнуть такой же степени относительного разрежения, плотность воздуха следовало бы уменьшить по крайней мере в 10^{18} раз! Заметим, однако, что в центральной области Галактики, где звездная плотность относительно высока, столкновения между звездами время от времени будут происходить. Здесь следует ожидать приблизительно одно столкновение каждый миллион лет, в то время как в «нормальных» областях Галактики за всю историю эволюции нашей звездной системы, насчитывающую, по крайней мере, 10 млрд. лет, столкновений между звездами практически не было (см. гл. 9).

---

*) Полезно запомнить простое правило: скорость в 1 *пс* за 1 млн. лет почти равна скорости в 1 *км/сек*. Предоставляем читателю убедиться в этом.

Мы кратко обрисовали масштаб и самую общую структуру той звездной системы, к которой принадлежит наше Солнце. При этом совершенно не рассматривались те методы, при помощи которых в течение многих лет несколько поколений астрономов шаг за шагом воссоздавали величественную картину строения Галактики. Этой важной проблеме посвящены другие книги, к которым мы отсылаем интересующихся читателей (например, Б. А. Воронцов-Вельяминов «Очерки о Вселенной», Ю. Н. Ефремов «В глубины Вселенной»). Наша задача — дать только самую общую картину строения и развития отдельных объектов Вселенной. Такая картина совершенно необходима для понимания этой книги.

Уже несколько десятилетий астрономы настойчиво изучают другие звездные системы, в той или иной степени сходные с нашей. Эта область исследований получила название «внегалактической астрономии». Она сейчас играет едва ли не ведущую роль в астрономии. В течение последних двух десятилетий внегалактическая астрономия добилась поразительных успехов. Понемногу стали вырисовываться грандиозные контуры Метагалактики, в состав которой наша звездная система входит как малая частица. Мы еще далеко не все знаем о Метагалактике. Огромная удаленность объектов создает совершенно специфические трудности, которые разрешаются путем применения самых мощных средств наблюдения в сочетании с глубокими теоретическими исследованиями. Все же общая структура Метагалактики в последние годы в основном стала ясной.

Мы можем определить Метагалактику как совокупность звездных систем — галактик, движущихся в огромных пространствах наблюдаемой нами части Вселенной. Ближайшие к нашей звездной системе галактики — знаменитые Магеллановы Облака, хорошо видные на небе южного полушария как два больших пятна примерно такой же поверхностной яркости, как и Млечный Путь. Расстояние до Магеллановых Облаков «всего лишь» около 200 тыс. световых лет, что вполне сравнимо с общей протяженностью нашей Галактики. Другая «близкая» к нам галактика — это туманность в созвездии Андромеды. Она видна невооруженным глазом как слабое световое пятнышко 5-й звездной величины *). На самом деле это огромный звездный мир, по количеству звезд и полной массе раза в три превышающий нашу Галактику, которая в свою очередь является гигантом среди галактик. Расстояние до туманности Андромеды, или, как ее называют астрономы, М 31 (это означает, что в известном каталоге туманностей Мессье она занесена под № 31), около 1800 тыс. световых лет, что примерно в 20 раз превышает размеры Галактики. Туманность М 31 имеет явно выраженную

*) Поток излучения от звезд измеряется так называемыми «звездными величинами». По определению, поток от звезды $(m+1)$-й величины в 2,512 раза меньше, чем от звезды m-й величины. Звезды слабее 6-й величины невооруженным глазом не видны. Самые яркие звезды имеют отрицательную звездную величину (например, у Сириуса она равна —1,5).

спиральную структуру и по многим своим характеристикам весьма напоминает нашу Галактику. Рядом с ней находятся ее небольшие спутники эллипсоидальной формы (рис. IV). На рис. V приведены фотографии нескольких сравнительно близких к нам галактик. Обращает на себя внимание большое разнообразие их форм. Наряду со спиральными системами (такие галактики обозначаются символами Sa, Sb и Sc в зависимости от характера развития спиральной структуры; при наличии проходящей через ядро «перемычки» (рис. Va) после буквы S ставится буква B) встречаются сфероидальные и эллипсоидальные, лишенные всяких следов спиральной структуры, а также «неправильные» галактики, хорошим примером которых могут служить Магеллановы Облака.

В большие телескопы наблюдается огромное количество галактик. Если галактик ярче видимой 12-й величины насчитывается около 250, то ярче 15-й — уже около 50 тыс. Самые слабые объекты, которые на пределе может сфотографировать телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 5 *м*, имеют 23,5-ю величину. Оказывается, что среди миллиардов таких слабейших объектов большинство составляют галактики. Многие из них удалены от нас на расстояния, которые свет проходит за миллиарды лет. Это означает, что свет, вызвавший почернение пластинки, был излучен такой удаленной галактикой еще задолго до архейского периода геологической истории Земли!

Иногда среди галактик попадаются удивительные объекты, например «радиогалактики». Это такие звездные системы, которые излучают огромное количество энергии в радиодиапазоне. У некоторых радиогалактик поток радиоизлучения в несколько раз превышает поток оптического излучения, хотя в оптическом диапазоне их светимость очень велика — в несколько раз превосходит полную светимость нашей Галактики. Напомним, что последняя складывается из излучения сотен миллиардов звезд, многие из которых в свою очередь излучают значительно сильнее Солнца. Классический пример такой радиогалактики — знаменитый объект Лебедь А. В оптических лучах — это два ничтожных световых пятнышка 17-й звездной величины (рис. VI). На самом деле их светимость очень велика, примерно в 10 раз больше, чем у нашей Галактики. Слабой эта система кажется потому, что она удалена от нас на огромное расстояние — 600 млн. световых лет. Однако поток радиоизлучения от Лебедя А на метровых волнах настолько велик, что превышает даже поток радиоизлучения от Солнца (в периоды, когда на Солнце нет пятен). Но ведь Солнце очень близко — расстояние до него «всего лишь» 8 световых минут; 600 млн. лет — и 8 мин.! А ведь потоки излучения, как известно, обратно пропорциональны квадратам расстояний.

Спектры большинства галактик напоминают солнечный; в обоих случаях наблюдаются отдельные темные линии поглощения на довольно ярком фоне. В этом нет ничего неожиданного, так как излучение галактик — это излучение миллиардов входящих в их

состав звезд, более или менее похожих на Солнце. Внимательное изучение спектров галактик много лет назад позволило сделать одно открытие фундаментальной важности. Дело в том, что по характеру смещения длины волны какой-либо спектральной линии по отношению к лабораторному стандарту можно определить скорость движения излучающего источника по лучу зрения. Иными словами, можно установить, с какой скоростью источник приближается или удаляется. Если источник света приближается, спектральные линии смещаются в сторону более коротких волн, если удаляется — в сторону более длинных. Это явление называется «эффектом Доплера». Оказалось, что у галактик (за исключением немногих, самых близких к нам) спектральные линии всегда смещены в длинноволновую часть спектра («красное смещение» линий), причем величина этого смещения тем больше, чем более удалена от нас галактика.

Это означает, что все галактики удаляются от нас, причем скорость этого «разлета» по мере удаления галактик растет. Она достигает огромных значений. Так, например, найденная по красному смещению скорость удаления радиогалактики Лебедь А близка к 17 тыс. *км/сек*. Еще пятнадцать лет назад рекорд принадлежал очень слабой (в оптических лучах 20-й величины) радиогалактике 3С 295. В 1960 г. был получен ее спектр. Оказалось, что известная ультрафиолетовая спектральная линия, принадлежащая ионизованному кислороду, смещена в оранжевую область спектра! Отсюда легко найти, что скорость удаления этой удивительной звездной системы составляет 138 тыс. *км/сек*, или почти половину скорости света. Радиогалактика 3С 295 удалена от нас на расстояние, которое свет проходит за 5 млрд. лет. Таким образом, астрономы исследовали свет, который был излучен тогда, когда образовывались Солнце и планеты, а может быть, даже «немного» раньше... В 1963 г. были открыты еще более удаленные объекты (гл. 6).

Причины расширения системы, состоящей из огромного количества галактик, мы здесь касаться не будем. Этот сложный вопрос является предметом современной космологии. Однако сам факт расширения наблюдаемой части Вселенной имеет большое значение для анализа развития жизни в ней (см. гл. 7).

На общее расширение системы галактик накладываются беспорядочные скорости отдельных галактик, обычно равные нескольким сотням километров в секунду. Именно поэтому ближайшие к нам галактики не обнаруживают систематического красного смещения. Ведь скорости беспорядочных (так называемых «пекулярных») движений для этих галактик больше регулярной скорости красного смещения. Последняя растет по мере удаления галактик приблизительно на 50 *км/сек* на каждый миллион парсек. Поэтому для галактик, расстояния до которых не превосходят нескольких миллионов парсек, беспорядочные скорости превышают скорость удаления, обусловленную красным смещением. Среди близких галактик наблюдаются и такие, которые приближаются к нам.

Галактики не распределены в метагалактическом пространстве равномерно, т. е. с постоянной плотностью. Они обнаруживают ярко выраженную тенденцию образовывать отдельные группы или скопления. В частности, группа из примерно 20 близких к нам галактик (включая нашу Галактику) образует так называемую «местную систему». В свою очередь местная система входит в большое скопление галактик, центр которого находится в той части неба, на которую проектируется созвездие Девы. Это скопление насчитывает несколько тысяч членов и принадлежит к числу самых больших. На рис. VII приведена фотография известного скопления галактик в созвездии Северной Короны, насчитывающего сотни галактик. В пространстве между скоплениями плотность галактик в десятки раз меньше, чем внутри скоплений.

Обращает на себя внимание разница между скоплениями звезд, образующими галактики, и скоплениями галактик. В первом случае расстояния между членами скопления огромны по сравнению с размерами звезд, в то время как средние расстояния между галактиками в скоплениях галактик всего лишь в несколько раз больше, чем размеры галактик. С другой стороны, число галактик в скоплениях не идет ни в какое сравнение с числом звезд в галактиках. Если рассматривать совокупность галактик как некоторый газ, где роль молекул играют отдельные галактики, то мы должны считать эту среду чрезвычайно вязкой.

Как же выглядит Метагалактика в нашей модели, где земная орбита уменьшена до размеров первой орбиты атома Бора? В этом масштабе расстояние до туманности Андромеды будет несколько больше 6 *м*, расстояние до центральной части скопления галактик в Деве, куда входит и наша местная система галактик, будет порядка 120 *м*, причем такого же порядка будет размер самого скопления. Радиогалактика Лебедь А будет удалена уже на вполне «приличное» расстояние — 2,5 *км*, а расстояние до радиогалактики 3С 295 достигнет 25 *км*...

Мы познакомились в самом общем виде с основными структурными особенностями и с масштабами Вселенной. Это как бы застывший кадр ее развития. Не всегда она была такой, какой мы теперь ее наблюдаем. Все во Вселенной меняется: появляются, развиваются и «умирают» звезды и туманности, развивается закономерным образом Галактика, меняются сама структура и масштабы Метагалактики (хотя бы по причине красного смещения). Поэтому нарисованную статическую картину Вселенной необходимо дополнить динамической картиной эволюции отдельных космических объектов, из которых она образована.

Прежде всего, мы должны представить себе общую картину эволюции звезд и звездных систем. Для этого, однако, необходимо хотя бы вкратце остановиться на их физических (а не только «кинематических» и «геометрических») характеристиках.

2

Основные характеристики звезд

В результате огромной работы, проделанной астрономами ряда стран в течение последних десятилетий, мы многое узнали о различных характеристиках звезд, природе их излучения и даже эволюции. Как это ни покажется парадоксальным, сейчас мы гораздо лучше представляем образование и эволюцию многих типов звезд, чем собственной планетной системы. В какой-то степени это понятно: астрономы наблюдают огромное множество звезд, находящихся на различных стадиях эволюции, в то время как непосредственно наблюдать другие планетные системы мы пока не можем.

Мы упомянули о «характеристиках» звезд. Под этим понимаются такие их основные свойства, как масса, полное количество энергии, излучаемой звездой в единицу времени (эта величина называется «светимостью» и обычно обозначается буквой L), радиус и температура поверхностных слоев. Температура определяет цвет звезды и ее спектр. Так, например, если температура поверхностных слоев звезды 3—4 тыс. °K, то ее цвет красноватый, 6—7 тыс.°K — желтоватый. Очень горячие звезды с температурой свыше 10—12 тыс. °K имеют белый и голубоватый цвет. В астрономии существуют вполне объективные методы измерения цвета звезд. Последний определяется так называемым «показателем цвета», равным разности фотографической и визуальной звездной величины *). Каждому значению показателя цвета соответствует определенный тип спектра. У холодных красных звезд спектры характеризуются линиями поглощения нейтральных атомов металлов и полосами некоторых простейших соединений (например, CN, CH, H_2O и др.). По мере увеличения температуры поверхности в спектрах звезд исчезают молекулярные полосы, слабеют многие линии нейтральных атомов, по-

*) Так как обычная фотографическая пластинка чувствительна к синим лучам, а глаз — к желтым и зеленым, то фотографические и визуальные величины не одинаковы. Например, для красных звезд показатель цвета может достигать 1,5 звездной величины и даже больше, в то время как для голубоватых он бывает отрицательным.

являются линии ионизованных атомов, а также линии нейтрального гелия. Сам вид спектра радикально меняется. Например, у горячих звезд с температурой поверхностных слоев, превышающей 20 тыс. °К, наблюдаются преимущественно линии нейтрального и ионизованного гелия, а непрерывный спектр очень интенсивен в ультрафиолетовой части. У звезд с температурой поверхностных слоев около 10 тыс. °К наиболее интенсивны линии водорода, в то время как у звезд с температурой около 6 тыс. °К — линии ионизованного кальция, расположенные на границе видимой и ультрафиолетовой частей спектра. Заметим, что такой вид имеет спектр нашего Солнца.

Последовательность спектров звезд, получающаяся при непрерывном изменении температуры их поверхностных слоев, обозначается следующими буквами: O, B, A, F, G, K, M, от самых горячих к очень холодным. Каждая такая буква описывает спектральный класс. Спектры звезд настолько чувствительны к изменению температуры их поверхностных слоев, что оказалось целесообразным ввести в пределах каждого класса 10 подклассов. Например, если говорят, что звезда имеет спектр B9, то это означает, что он ближе к спектру A2, чем, например, к спектру B1.

Светимость звезды L часто выражают в единицах светимости Солнца. Последняя равна $4 \cdot 10^{33}$ *эрг/сек.* По своей светимости звезды различаются в очень широких пределах. Есть звезды (их, правда, сравнительно немного), светимости которых превосходят светимость Солнца в десятки и даже сотни тысяч раз. Огромное большинство звезд составляют «карлики», светимости которых значительно меньше солнечной, зачастую в тысячи раз. Характеристикой светимости является так называемая «абсолютная величина» звезды. Видимая звездная величина зависит, с одной стороны, от ее светимости и цвета, с другой — от расстояния до нее. Если отнести какую-либо звезду на условное стандартное расстояние 10 *пс*, то ее величина будет называться «абсолютной». Поясним это примером. Если видимая звездная величина Солнца (определяемая потоком излучения от него) равна — 26,8, то на расстоянии 10 *пс* (которое приблизительно в 2 млн. раз больше истинного расстояния от Земли до Солнца) его звездная величина будет около +5. На таком расстоянии наше дневное светило казалось бы звездочкой, едва видимой невооруженным глазом (напомним, что самые слабые звезды, видимые невооруженным глазом, имеют величину +6). Звезды высокой светимости имеют отрицательные абсолютные величины, например —7, —5. Звезды низкой светимости характеризуются большими положительными значениями абсолютных величин, например +10, +12 и т. д.

Важной характеристикой звезды является ее масса. В отличие от светимости массы звезд меняются в сравнительно узких пределах. Очень мало звезд, массы которых больше или меньше солнечной в 10 раз. Масса Солнца равна $2 \cdot 10^{33}$ *г*, что превышает массу Земли в 330 тыс. раз.

Еще одна существенная характеристика звезды — ее радиус. Радиусы звезд меняются в очень широких пределах. Есть звезды,

по своим размерам не превышающие земной шар (так называемые «белые карлики»), есть огромные «пузыри», внутри которых могла бы свободно поместиться орбита Марса. Мы не случайно назвали такие гигантские звезды «пузырями». Из того факта, что по своим массам звезды отличаются сравнительно незначительно, следует, что при очень большом радиусе средняя плотность вещества должна быть ничтожно малой. Если средний удельный вес солнечного вещества равен 1,4, то у таких «пузырей» он может быть в миллионы раз меньше, чем у воздуха. В то же время белые карлики имеют огромную среднюю плотность, достигающую десятков и даже сотен тысяч граммов на кубический сантиметр.

Большое значение имеет исследование химического состава звезд путем тщательного анализа их спектров. При этом необходимо учитывать температуру и давление в поверхностных слоях звезд, которые также получают из спектров. Вообще спектрографические наблюдения дают наиболее полную информацию об условиях, господствующих в звездных атмосферах.

По химическому составу звезды, как правило, представляют собой водородные и гелиевые плазмы *). Остальные элементы присутствуют в виде сравнительно незначительных «загрязнений». Средний химический состав наружных слоев звезды выглядит примерно следующим образом. На 10 тыс. атомов водорода приходится 1000 атомов гелия, 5 атомов кислорода, 2 атома азота, один атом углерода, 0,3 атома железа. Относительное содержание других элементов еще меньше. Хотя по числу атомов так называемые «тяжелые элементы» (т. е. элементы с атомным весом бо́льшим, чем у гелия) занимают во Вселенной весьма скромное место, их роль очень велика. Прежде всего они в значительной степени определяют характер эволюции звезд, так как непрозрачность звездных недр для излучения существенно зависит от содержания тяжелых элементов. В то же время светимость звезды, как оказывается, тоже зависит от ее непрозрачности. Мы здесь на этих вопросах не имеем возможности остановиться. Об этом подробно написано в нашей книге «Звезды: их рождение, жизнь и смерть», к которой мы и отсылаем читателей.

Наличие во Вселенной (в частности, в звездах) тяжелых элементов имеет решающее значение для проблемы, которой посвящена эта книга. Совершенно очевидно, что живая субстанция может быть построена только при наличии тяжелых элементов и их соединений. Общеизвестна роль углерода в структуре живой материи. Не менее важны и другие элементы, например железо, фосфор. Царство живого — это сложнейшие сцепления тяжелых элементов. Мы можем поэтому со всей определенностью сформулировать следующее положение: если бы не было тяжелых элементов, не было бы и жизни. Поэтому проблема химического состава космических объектов (звезд, туманностей, планет) имеет первостепенное значение для анализа

*) Плазмой называется ионизованный газ, в каждом элементе объема которого находится одинаковое количество электронов и положительных ионов.

условий возникновения жизни в тех или иных областях Вселенной. Всегда ли во Вселенной были тяжелые элементы? Ниже мы будем обсуждать этот важный вопрос. Оказывается, что в далеком прошлом во Вселенной тяжелых элементов было значительно меньше, чем сейчас. Может быть, их совсем не было. Поэтому крупнейшей научной проблемой является происхождение тяжелых элементов. Эта проблема столь же важна, как проблемы происхождения звезд, планет и даже жизни.

Спектроскопические исследования показали, что имеются удивительные различия в химическом составе звезд. Так, например, горячие массивные звезды, концентрирующиеся к галактической плоскости, сравнительно богаты тяжелыми элементами, между тем как у звезд, входящих в состав шаровых скоплений (см. рис. 2), относительное содержание тяжелых элементов в десятки раз меньше. Этот важный факт находит обоснование в современных теориях эволюции звезд и звездных систем, о которых речь будет идти ниже.

Исследования последних десятилетий позволили сделать вывод, что звезды вращаются вокруг своих осей. Выяснилось, что звезды различных спектральных классов вращаются с разной скоростью. Этому очень важному для космогонии вопросу будет посвящена гл. 10.

Наконец, стоит сказать несколько слов о магнетизме звезд. Тем же спектроскопическим методом было обнаружено наличие мощных магнитных полей в атмосферах некоторых звезд. Напряженность этих полей в отдельных случаях доходит до 10 тыс. *э* (эрстед), т. е. в 20 тыс. раз больше, чем магнитное поле Земли. Заметим, что в солнечных пятнах напряженность магнитных полей доходит до 3—4 тыс. *э*. Вообще магнитные явления, как выяснилось в последние годы, играют значительную роль в физических процессах, происходящих в солнечной атмосфере. Имеются все основания полагать, что то же самое справедливо и для звездных атмосфер. Казалось бы, к проблеме происхождения и развития жизни во Вселенной звездный магнетизм совершенно не имеет отношения. Но это только так кажется. В действительности причинная цепь явлений, приводящих в итоге к возникновению жизни на какой-нибудь планете, заброшенной в просторах Вселенной, необыкновенно сложна. В частности, существенным звеном в этой цепи должно быть само возникновение планет. И вот оказывается, что магнитные эффекты при образовании планетных систем могут иметь решающее значение. Об этом речь будет идти в гл. 11.

Мы перечислили основные характеристики звезд. Возникает вопрос: существует ли между этими характеристиками какая-нибудь связь? Такая связь, как оказывается, существует. Она была обнаружена свыше полувека назад.

Будем изображать звезды точками на диаграмме Герцшпрунга — Рессела, где по оси абсцисс отложены спектральные классы (или соответствующие им показатели цвета), а по оси ординат — абсолютные величины, являющиеся мерой светимости соответствую-

щих звезд (рис. 2). Из рис. 2 видно, что звезды лежат на этой диаграмме не беспорядочно, а образуют явно выраженные последовательности. Большинство звезд находится в пределах сравнительно узкой

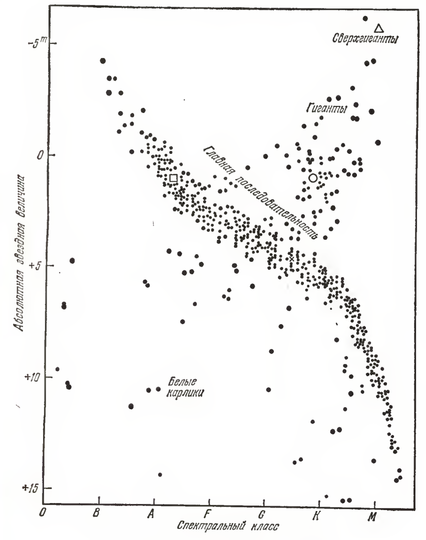


Рис. 2. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела.

полосы, идущей от левого верхнего угла диаграммы к правому нижнему. Это так называемая «главная последовательность» звезд. В верхнем правом углу группируются звезды в виде довольно беспорядочной кучи. Их спектральные классы — G, K и M, а абсолютные

величины находятся в пределах (+2)÷(—6). Они называются «красными гигантами», хотя среди них есть и желтые звезды. Наконец, в нижней левой части диаграммы мы видим небольшое количество звезд. Их абсолютные величины слабее +10, а спектральные классы лежат в пределах от B до F. Следовательно, это очень горячие звезды с низкой светимостью. Но низкая светимость при высокой поверхностной температуре может быть, очевидно, только тогда, когда радиусы звезд достаточно малы. Таким образом, в этой части диаграммы «спектр — светимость» находятся очень маленькие горячие звезды. Такие звезды называются «белыми карликами». Именно о них речь шла в начале этой главы.

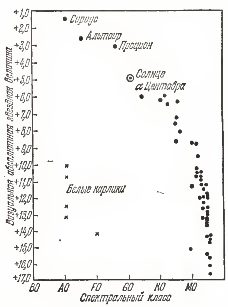


Рис. 3. Диаграмма Герцшпрунга — Ресселa для близких звезд.

Количество точек на диаграмме «спектр—светимость», приведенной на рис. 2, не дает правильного представления об относительном количестве звезд различных классов в Галактике. Так, например, звезд-гигантов с высокой светимостью на этой диаграмме непропорционально много по сравнению с «карликами» низкой светимости. Это объясняется условиями наблюдений: благодаря высокой светимости гиганты видны с очень больших расстояний, между тем как значительно более многочисленные карлики на таких расстояниях очень трудно наблюдать (если говорить о спектральных наблюдениях).

Некоторое представление об относительном количестве звезд разных последовательностей можно получить, если откладывать на диаграмме «спектр — светимость» все без исключения звезды, находящиеся от Солнца на расстоянии, не превышающем 5 *пс* (16,3 светового года). Такая диаграмма приведена на рис. 3. Обращает на себя внимание отсутствие хотя бы одного гиганта. Зато нижняя правая часть главной последовательности очень отчетливо выражена. Мы видим, что в этом сферическом объеме радиусом 5 *пс* (довольно типичном для Галактики) подавляющее большинство звезд слабее и холоднее Солнца. Это так называемые «красные карлики», лежащие на нижней правой части главной последовательности. На этой же диаграмме нанесено наше Солнце. Только три звезды (из примерно 50, находящихся в этом объеме) излучают сильнее Солнца.

Это Сириус — самая яркая из звезд, видимых на небе, Альтаир и Процион. Зато на рис. 3 мы видим пять белых карликов. Из того простого факта, что в малом объеме радиусом 5 *пс* наблюдается столь заметное число белых карликов, следует, что число их во всей Галактике очень велико. Подсчеты показывают, что число белых карликов в нашей звездной системе по крайней мере равно нескольким миллиардам, а может быть, даже больше 10 млрд. (напомним, что полное количество звезд всех типов во всей Галактике около 150 млрд.). Число белых карликов в десятки тысяч раз больше, чем гигантов высокой светимости, столь обильно представленных на диаграмме, изображенной на рис. 2. Этот пример убедительно показывает, какую заметную роль в астрономии (так же как и в других науках о природе) играет наблюдательная селекция.

На диаграмме «спектр — светимость» (или «цвет — светимость»), кроме отмеченных главной последовательности и группировок красных гигантов и белых карликов, существуют и некоторые другие последовательности. Уже на рис. 2 намечается последовательность звезд, расположенная несколько ниже главной. Это так называемые «субкарлики». Хотя в окрестностях Солнца эти звезды сравнительно малочисленны, в центральных областях Галактики, а также в шаровых скоплениях количество их огромно. Субкарлики довольно слабо концентрируются к галактической плоскости, но зато очень сильно — к центру нашей звездной системы. По-видимому, они — самый многочисленный тип звезд в Галактике. Субкарлики отличаются от звезд главной последовательности сравнительно низким содержанием тяжелых элементов. Разница в химическом составе является причиной различия в светимостях при одинаковой температуре поверхностных слоев *).

То, что диаграмма «спектр — светимость» теснейшим образом связана с проблемой эволюции звезд, интуитивно чувствовалось астрономами сразу же после открытия этой диаграммы. Сначала считалось, что звезды в основном эволюционируют вдоль главной последовательности. По этим наивным представлениям первоначально образовавшаяся звезда представляет собой красный гигант, который, сжимаясь, увеличивает температуру, пока не превратится в «голубой гигант», находящийся в верхнем левом углу диаграммы «спектр — светимость». Эволюционируя вдоль главной последовательности, она становится «холоднее» и излучает меньше. Отголоском этих представлений является существующая и поныне у астрономов терминология: спектральные классы O, B, A и частично F называются «ранними», а G, K, M — «поздними». Если идти вдоль главной последовательности от спектральных классов O—B до K—M, то массы звезд непрерывно уменьшаются. Например, у звезд класса O массы достигают нескольких десятков солнечной, у звезд B — около 10.

*) Радиусы звезд главной последовательности и последовательности субкарликов с одинаковой поверхностной температурой неодинаковы.

Солнце имеет спектральный класс G2 (см. рис. 3). У звезд более поздних классов, чем Солнце, массы меньше солнечной. У карликов спектрального класса M массы примерно в 10 раз меньше, чем у Солнца. Так как вдоль главной последовательности и масса и светимость непрерывно меняются, между ними существует эмпирическое соотношение. На рис. 4 приведена зависимость между массой и светимостью для звезд главной последовательности.

Если считать, что звезды каким-то образом эволюционируют вдоль главной последовательности, то необходимо сделать вывод, что они непрерывно теряют значительную часть своей первоначальной массы. Такие представления сталкиваются с непреодолимыми

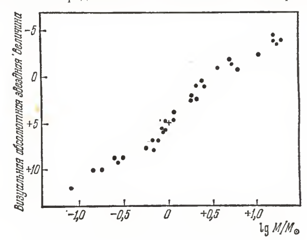


Рис. 4. Зависимость светимости звезд от их массы.

трудностями. Хотя делались попытки построить теорию эволюции звезд вдоль главной последовательности на основе представлений о непрерывной потере ими массы, они оказались совершенно неудачными *). Правильная теория звездной эволюции, основная на современных представлениях об источниках звездной энергии и на богатом наблюдательном материале, была развита в пятидесятых годах. Эта теория, успешно объяснившая диаграмму «спектр — светимость», будет обсуждаться в гл. 4.

---

*) Разумеется, в отдельных случаях наблюдается выбрасывание материи из поверхностных слоев звезд (например, при вспышках новых и сверхновых, а также в виде спокойного истечения, так называемого «звездного ветра»). Речь идет о невозможности объяснения эволюции звезд вдоль главной последовательности таким способом.

3

Межзвездная среда

Согласно современным представлениям, звезды образуются путем конденсации весьма разреженной межзвездной газово-пылевой среды. Поэтому, прежде чем рассказать о путях эволюции звезд, нам придется остановиться на свойствах межзвездной среды. Этот вопрос имеет также самостоятельное значение для интересующей нас проблемы. В частности, решение вопроса об установлении различных типов связи между цивилизациями, находящимися на различных планетных системах, зависит от свойств среды, заполняющей межзвездное пространство, разделяющее эти цивилизации.

Межзвездный газ был обнаружен в самом начале текущего столетия благодаря поглощению в линиях ионизованного кальция, которое он производит в спектрах удаленных горячих звезд. С тех пор методы изучения межзвездного газа непрерывно улучшались и достигли высокой степени совершенства. В итоге большой многолетней работы, проделанной астрономами, сейчас свойства межзвездного газа можно считать достаточно хорошо известными. Плотность межзвездной газовой среды ничтожна. В среднем в областях межзвездного пространства, расположенных недалеко от галактической плоскости, в 1 *см*^{3} находится примерно 1 атом. Напомним, что в таком же объеме воздуха находится $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекул. Даже в самых совершенных вакуумных камерах концентрация атомов не меньше чем 10^3 *см*$^{-3}$. И все же межзвездную среду нельзя рассматривать как вакуум! Дело в том, что вакуумом, как известно, называется такая система, в которой длина свободного пробега атомов или молекул превышает характерные размеры этой системы. Однако в межзвездном пространстве средняя длина свободного пробега атомов в сотни раз меньше, чем расстояния между звездами. Поэтому мы вправе рассматривать межзвездный газ как сплошную, сжимаемую среду и применять к этой среде законы газовой динамики.

Химический состав межзвездного газа довольно хорошо исследован. Он сходен с химическим составом наружных слоев звезд главной последовательности. Преобладают атомы водорода и гелия,

атомов металлов сравнительно немного. В довольно заметных количествах присутствуют простейшие молекулярные соединения (например, CO, CN). Возможно, что значительная часть межзвездного газа находится в форме молекулярного водорода. Развитие внеатмосферной астрономии открыло возможность наблюдения межзвездных линий молекулярного водорода в далекой ультрафиолетовой части спектра.

Физические свойства межзвездного газа существенно зависят от того, находится ли он в сравнительной близости от горячих звезд или, напротив, достаточно удален от них. Дело в том, что ультрафиолетовое излучение горячих звезд полностью ионизует межзвездный водород на огромных расстояниях. Так, звезда спектрального класса O5 ионизует вокруг себя водород в гигантской области радиусом около 100 *пс*.

Температура межзвездного газа в таких областях (определяемая как характеристика беспорядочных тепловых движений частиц) достигает 10 тыс. °K. При этих условиях межзвездная среда излучает отдельные линии в видимой части спектра, в частности красную водородную линию. Эти области межзвездной среды носят название «зоны HII». Однако бо́льшая часть межзвездной среды достаточно удалена от горячих звезд. Водород там не ионизован. Температура газа низкая, около 100 °K или ниже. Именно здесь имеется значительное количество молекул водорода.

Кроме газа, в состав межзвездной среды входит космическая пыль. Размеры таких пылинок составляют 10^{-4} — 10^{-5} *см*. Они являются причиной поглощения света в межзвездном пространстве, из-за которого мы не можем наблюдать объекты, находящиеся в галактической плоскости на расстояниях, больших 2—3 тыс. *пс*. К счастью, космическая пыль, так же как и связанный с ней межзвездный газ, сильно концентрируется к галактической плоскости. Толщина газово-пылевого слоя составляет всего лишь около 250 *пс*. Поэтому излучение от космических объектов, направления на которые составляют значительные углы с галактической плоскостью, поглощается незначительно.

Межзвездные газ и пыль перемешаны. Отношение средних плотностей газа и пыли в межзвездном пространстве равно приблизительно 100 : 1. Наблюдения показывают, что пространственная плотность газово-пылевой межзвездной среды меняется весьма нерегулярно. Для этой среды характерно резко выраженное «клочковатое» распределение. Она существует в виде облаков (в которых плотность раз в 10 больше средней), разделенных областями, где плотность ничтожна мала. Эти газово-пылевые облака сосредоточены преимущественно в спиральных ветвях Галактики и участвуют в галактическом вращении. Отдельные облака имеют скорости в 6—8 *км/сек*, о чем уже говорилось. Наиболее плотные из таких облаков наблюдаются как темные или светлые т у м а н н о с т и.

Значительное количество сведений о природе межзвездного газа было получено в течение последнего десятилетия благодаря весьма

эффективному применению радиоастрономических методов. Особенно плодотворными были исследования межзвездного газа на волне 21 *см*. Что это за волна? Еще в сороковых годах теоретически было предсказано, что нейтральные атомы водорода в условиях межзвездного пространства должны излучать спектральную линию с длиной волны 21 *см*. Дело в том, что основное, самое «глубокое» квантовое состояние атома водорода состоит из двух очень близких уровней. Эти уровни различаются ориентациями магнитных моментов ядра атома водорода (протона) и вращающегося вокруг него электрона. Если моменты ориентированы параллельно, получается один уровень, если антипараллельно — другой. Энергия одного из этих уровней несколько больше другого (на величину, равную удвоенному значению энергии взаимодействия магнитных моментов электрона и протона). Согласно законам квантовой физики, время от времени должны самопроизвольно происходить переходы с уровня большей энергии на уровень меньшей энергии. При этом будет излучаться квант с частотой, пропорциональной разности энергий уровней. Так как последняя в нашем случае очень мала, то и частота излучения будет низкой. Соответствующая длина волны будет равна 21 *см*.

Расчеты показывают, что такие переходы между уровнями атома водорода приходят чрезвычайно редко: в среднем для одного атома имеет место один переход в 11 млн. лет! Чтобы почувствовать ничтожную величину вероятности таких процессов, достаточно сказать, что при излучении спектральных линий в оптическом диапазоне переходы происходят каждую стомиллионную долю секунды. И все же оказывается, что эта линия, излучаемая межзвездными атомами, имеет вполне наблюдаемую интенсивность.

Так как межзвездные атомы имеют различные скорости по лучу зрения, то из-за эффекта Доплера излучение в линии 21 *см* будет «размазано» в некоторой полосе частот около 1420 *Мгц* (эта частота соответствует длине волны 21 *см*). По распределению интенсивности в этой полосе (так называемому «профилю линии») можно изучить все движения, в которых участвуют межзвездные атомы водорода. Таким путем удалось исследовать особенности галактического вращения межзвездного газа, беспорядочные движения отдельных его облаков, а также его температуру. Кроме того, из этих наблюдений определяется количество атомов водорода в межзвездном пространстве. Мы видим, таким образом, что радиоастрономические исследования на волне 21 *см* являются мощнейшим методом изучения межзвездной среды и динамики Галактики. В последние годы этим методом изучаются другие галактики, например туманность Андромеды. По мере увеличения размеров радиотелескопов будут открываться все новые возможности изучения более удаленных галактик при помощи радиолинии водорода.

В конце 1963 г. была обнаружена еще одна межзвездная радиолиния, принадлежащая молекулам гидроксила OH, с длиной волны 18 *см*. Существование этой линии было теоретически предсказано автором этой книги еще в 1949 г. В направлении на галактический центр

интенсивность этой линии (которая наблюдается в поглощении) оказалась очень высокой *). Это подтверждает сделанный выше вывод, что в отдельных областях межзвездного пространства газ находится преимущественно в молекулярном состоянии. В 1967 г. была открыта радиолиния воды H_2O с длиной волны 1,35 *см*. Исследования газовых туманностей в линиях OH и H_2O привели к открытию космических мазеров (см. следующую главу).

За последние 12 лет, протекшие после открытия межзвездной радиолинии OH, было открыто много других радиолиний межзвездного происхождения, принадлежащих различным молекулам. Полное число обнаруженных таким образом молекул уже превышает 20. Среди них особенно большое значение имеет молекула CO, радиолиния которой с длиной волны 2,64 *мм* наблюдается почти во всех областях межзвездной среды. Есть молекулы, радиолинии от которых наблюдаются исключительно в плотных, холодных облаках межзвездной среды. Довольно неожиданным было обнаружение в таких облаках радиолиний весьма сложных многоатомных молекул, например, CH_3HCO, CH_3CN и др. Это открытие, возможно, имеет отношение к волнующей нас проблеме происхождения жизни во Вселенной. Если открытия будут и дальше делаться в таком темпе, кто знает, не будут ли обнаружены межзвездные молекулы ДНК и РНК? (см. гл. 12).

Весьма полезным является то обстоятельство, что соответствующие радиолинии, принадлежащие различным изотопам одной и той же молекулы, имеют довольно заметно различающиеся длины волн. Это позволяет исследовать изотопный состав межзвездной среды, что имеет большое значение для проблемы эволюции вещества во Вселенной. В частности, раздельно наблюдаются такие изотопные комбинации окиси азота: $C^{12}O^{16}$, $C^{13}O^{16}$ и $C^{12}O^{18}$.

Области межзвездной среды, окружающей горячие звезды, где водород полностью ионизован («зоны HII»), весьма успешно исследуются при помощи так называемых «рекомбинационных» радиолиний, существование которых было теоретически предсказано еще до их открытия советским астрономом Н. С. Кардашевым, много занимавшимся также проблемой связи с внеземными цивилизациями (см. гл. 25). «Рекомбинационные» линии возникают при переходах между весьма высоко возбужденными атомами (например, между 108 и 107 уровнями атома водорода). Столь «высокие» уровни могут существовать в межзвездной среде только по причине ее чрезвычайно низкой плотности. Заметим, например, что в солнечной атмосфере могут существовать только первые 28 уровней атома водорода; более высокие уровни разрушаются благодаря взаимодействию с частицами окружающей плазмы.

Уже сравнительно давно астрономы получили ряд косвенных доказательств наличия межзвездных магнитных полей. Эти магнитные

*) Линия OH состоит из четырех близких по частотам компонент (1612, 1665, 1667 и 1720 *Мгц*).

поля связаны с облаками межзвездного газа и движутся вместе с ними. Напряженность таких полей около 10^{-5} *э*, т. е. в 100 тыс. раз меньше напряженности земного магнитного поля на поверхности нашей планеты. Общее направление магнитных силовых линий совпадает с направлением ветвей спиральной структуры Галактики. Можно сказать, что сами спиральные ветви представляют собой гигантских размеров магнитные силовые трубки.

В конце 1962 г. факт существования межзвездных магнитных полей был установлен английскими радиоастрономами путем прямых наблюдений. С этой целью исследовались весьма тонкие поляризационные эффекты в радиолинии 21 *см*, наблюдаемой в поглощении в спектре мощного источника радиоизлучения — Крабовидной туманности (об этом источнике см. гл. 5) *). Если межзвездный газ находится в магнитном поле, можно ожидать расщепления линии 21 *см* на несколько компонент, отличающихся поляризацией. Так как величина магнитного поля очень мала, это расщепление будет совершенно ничтожным. Кроме того, ширина линии поглощения 21 *см* довольно значительна. Единственное, что можно ожидать в такой ситуации,— это небольшие систематические различия поляризации в пределах профиля линий поглощения. Поэтому уверенное обнаружение этого тонкого эффекта — замечательное достижение современной науки. Измеренное значение межзвездного магнитного поля оказалось в полном соответствии с теоретически ожидаемым согласно косвенным данным.

Для исследований межзвездных магнитных полей применяется и радиоастрономический метод, основанный на изучении вращения плоскости поляризации радиоизлучения внегалактических источников **) при его прохождении через «намагниченную» межзвездную среду («явление Фарадея»). Этим методом уже сейчас удалось получить ряд важных данных о структуре межзвездных магнитных полей. В последние годы в качестве источников поляризованного излучения для измерения межзвездного магнитного поля таким методом используются пульсары (см. гл. 5).

Межзвездные магнитные поля играют решающую роль при образовании плотных холодных газово-пылевых облаков межзвездной среды, из которых конденсируются звезды (см. гл. 4).

С межзвездными магнитными полями тесно связаны первичные космические лучи, заполняющие межзвездное пространство. Это частицы (протоны, ядра более тяжелых элементов, а также электроны), энергии которых превышают сотни миллионов электронвольт, доходя до 10^{20}—10^{21} *эв*. Они движутся вдоль силовых линий магнитных полей по винтовым траекториям. Электроны первичных косми-

*) Линия поглощения 21 *см*, обусловленная межзвездным водородом, образуется в радиоспектре какого-либо источника совершенно таким же образом, как линии межзвездного кальция в спектрах удаленных горячих звезд.

**) Радиоизлучение от метагалактических источников линейно поляризовано, причем степень поляризации обычно порядка нескольких процентов. Поляризация этого радиоизлучения объясняется его синхротронной природой (см. ниже).

ческих лучей, двигаясь в межзвездных магнитных полях, излучают радиоволны. Это излучение наблюдается нами как радиоизлучение Галактики (так называемое «синхротронное излучение»). Таким образом, радиоастрономия открыла возможность изучать космические лучи в глубинах Галактики и даже далеко за ее пределами. Она впервые поставила проблему происхождения космических лучей на прочный научный фундамент.

Исследователи, работавшие над проблемой происхождения жизни, до недавнего времени оставляли без внимания вопрос о первичных космических лучах. Между тем уровень жесткой радиации, вызывающей мутации, является, на наш взгляд, весьма существенным эволюционным фактором. Имеются все основания полагать, что ход эволюции жизни был бы совсем другим, если бы уровень жесткой радиации (который сейчас в значительной степени обусловлен первичными космическими лучами) был бы в десятки раз выше современного значения. Отсюда возникает важный вопрос: остается ли постоянным уровень космической радиации на какой-нибудь планете, на которой развивается жизнь? Речь идет о сроках, исчисляемых многими сотнями миллионов лет. Мы увидим в следующих главах этой книги, как современная астрофизика и радиоастрономия отвечают на этот вопрос.

Масса межзвездного газа в нашей Галактике близка к миллиарду солнечных масс, что составляет немногим больше 1% от полной массы Галактики, обусловленной в основном звездами. В других звездных системах относительное содержание межзвездного газа меняется в довольно широких пределах. У эллиптических галактик оно очень мало, около 10^{-4} и даже меньше, в то время как у неправильных звездных систем (типа Магеллановых Облаков) содержание межзвездного газа доходит до 20 и даже 50%. Это обстоятельство тесно связано с вопросом об эволюции звездных систем, о чем речь будет идти в гл. 6.

4

Эволюция звезд

Современная астрономия располагает большим количеством аргументов в пользу утверждения, что звезды образуются путем конденсации облаков газово-пылевой межзвездной среды. Процесс образования звезд из этой среды продолжается и в настоящее время. Выяснение этого обстоятельства является одним из крупнейших достижений современной астрономии. Еще сравнительно недавно считали, что все звезды образовались почти одновременно много миллиардов лет назад. Крушению этих метафизических представлений способствовал, прежде всего, прогресс наблюдательной астрономии и развитие теории строения и эволюции звезд. В результате стало ясно, что многие наблюдаемые звезды являются сравнительно молодыми объектами, а некоторые из них возникли тогда, когда на Земле уже был человек.

Важным аргументом в пользу вывода о том, что звезды образуются из межзвездной газово-пылевой среды, служит расположение групп заведомо молодых звезд (так называемых «ассоциаций») в спиральных ветвях Галактики. Дело в том, что согласно радиоастрономическим наблюдениям межзвездный газ концентрируется преимущественно в спиральных рукавах галактик. В частности, это имеет место и в нашей Галактике. Более того, из детальных «радиоизображений» некоторых близких к нам галактик следует, что наибольшая плотность межзвездного газа наблюдается на внутренних (по отношению к центру соответствующей галактики) краях спирали, что находит естественное объяснение, на деталях которого мы здесь останавливаться не можем. Но именно в этих частях спиралей наблюдаются методами оптической астрономии «зоны H II», т. е. облака ионизованного межзвездного газа. В гл. 3 уже говорилось, что причиной ионизации таких облаков может быть только ультрафиолетовое излучение массивных горячих звезд — объектов заведомо молодых (см. ниже).

Центральным в проблеме эволюции звезд является вопрос об источниках их энергии. В самом деле, откуда, например, берется

огромное количество энергии, необходимой для поддержания излучения Солнца примерно на наблюдаемом уровне в течение нескольких миллиардов лет? Ежесекундно Солнце излучает $4 \cdot 10^{33}$ *эрг*, а за 3 млрд. лет оно излучило $4 \cdot 10^{50}$ *эрг*. Несомненно, что возраст Солнца больше 3 млрд. лет. Это следует хотя бы из современных оценок возраста Земли различными радиоактивными методами. Вряд ли Солнце «моложе» Земли.

В прошлом веке и в начале этого века предлагались различные гипотезы о природе источников энергии Солнца и звезд. Некоторые ученые, например, считали, что источником солнечной энергии является непрерывное выпадение на его поверхность метеоров, другие искали источник в непрерывном сжатии Солнца. Освобождающаяся при таком процессе потенциальная энергия могла бы, при некоторых условиях, перейти в излучение. Как мы увидим ниже, этот источник на раннем этапе эволюции звезды может быть довольно эффективным, но он никак не может обеспечить излучение Солнца в течение требуемого времени.

Успехи ядерной физики позволили решить проблему источников звездной энергии еще в конце тридцатых годов нашего столетия. Таким источником являются термоядерные реакции синтеза, происходящие в недрах звезд при господствующей там очень высокой температуре (порядка десяти миллионов градусов).

В результате этих реакций, скорость которых сильно зависит от температуры, протоны превращаются в ядра гелия, а освобождающаяся энергия медленно «просачивается» сквозь недра звезд и в конце концов, значительно трансформированная, излучается в мировое пространство. Это исключительно мощный источник. Если предположить, что первоначально Солнце состояло только из водорода, который в результате термоядерных реакций целиком превратился в гелий, то выделившееся количество энергии составит примерно 10^{52} *эрг*. Таким образом, для поддержания излучения на наблюдаемом уровне в течение миллиардов лет достаточно, чтобы Солнце «израсходовало» не свыше 10% своего первоначального запаса водорода.

Теперь мы можем представить картину эволюции какой-нибудь звезды следующим образом. По некоторым причинам (их можно указать несколько) начало конденсироваться облако межзвездной газово-пылевой среды. Довольно скоро (разумеется, по астрономическим масштабам!) под влиянием сил всемирного тяготения из этого облака образуется сравнительно плотный непрозрачный газовый шар. Строго говоря, этот шар еще нельзя назвать звездой, так как в его центральных областях температура недостаточна для того, чтобы начались термоядерные реакции. Давление газа внутри шара не в состоянии пока уравновесить силы притяжения отдельных его частей, поэтому он будет непрерывно сжиматься. Некоторые астрономы раньше считали, что такие «протозвезды» наблюдаются в отдельных туманностях в виде очень темных компактных образований, так называемых глобул (рис. 5). Успехи радиоастрономии, однако,

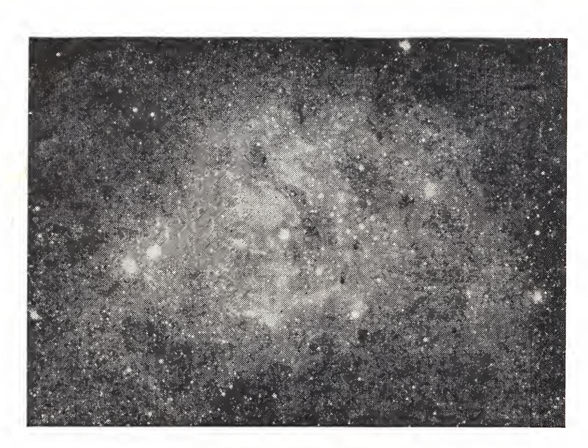


Рис. 5. Глобулы в диффузной туманности.

заставили отказаться от такой довольно наивной точки зрения (см. ниже). Обычно одновременно образуется не одна протозвезда, а более или менее многочисленная группа их. В дальнейшем эти группы становятся звездными ассоциациями и скоплениями, хорошо известными астрономам. Весьма вероятно, что на этом самом раннем этапе эволюции звезды вокруг нее образуются сгустки с меньшей массой, которые затем постепенно превращаются в планеты (см. гл. 9).

При сжатии протозвезды температура ее повышается и значительная часть освобождающейся потенциальной энергии излучается в окружающее пространство. Так как размеры сжимающегося газового шара очень велики, то излучение с единицы его поверхности будет незначительным. Коль скоро поток излучения с единицы поверхности пропорционален четвертой степени температуры (закон Стефана—Больцмана), температура поверхностных слоев звезды сравнительно низка, между тем как ее светимость почти такая же, как у обычной звезды с той же массой. Поэтому на диаграмме «спектр — светимость» такие звезды расположатся вправо от главной последовательности, т. е. попадут в область красных гигантов или красных карликов, в зависимости от значений их первоначальных масс.

В дальнейшем протозвезда продолжает сжиматься. Ее размеры становятся меньше, а поверхностная температура растет, вследствие чего спектр становится все более «ранним». Таким образом, двигаясь по диаграмме «спектр — светимость», протозвезда довольно быстро «сядет» на главную последовательность. В этот период температура звездных недр уже оказывается достаточной для того, чтобы там начались термоядерные реакции. При этом давление газа внутри будущей звезды уравновешивает притяжение и газовый шар перестает сжиматься. Протозвезда становится звездой.

Чтобы пройти эту самую раннюю стадию своей эволюции, протозвездам нужно сравнительно немного времени. Если, например, масса протозвезды больше солнечной, нужно всего лишь несколько миллионов лет, если меньше — несколько сот миллионов лет. Так как время эволюции протозвезд сравнительно невелико, эту самую раннюю фазу развития звезды обнаружить трудно. Все же звезды в такой стадии, по-видимому, наблюдаются. Мы имеем в виду очень интересные звезды типа Т Тельца, обычно погруженные в темные туманности.

В 1966 г. совершенно неожиданно выявилась возможность наблюдать протозвезды на ранних стадиях их эволюции. Мы уже упоминали в третьей главе этой книги об открытии методом радиоастрономии ряда молекул в межзвездной среде, прежде всего гидроксила OH и паров воды H_2O. Велико же было удивление радиоастрономов, когда при обзоре неба на волне 18 *см*, соответствующей радиолинии OH, были обнаружены яркие, чрезвычайно компактные (т. е. имеющие малые угловые размеры) источники. Это было настолько неожиданно, что первое время отказывались даже верить, что столь яркие радиолинии могут принадлежать молекуле гидроксила. Была

высказана гипотеза, что эти линии принадлежат какой-то неизвестной субстанции, которой сразу же дали «подходящее» имя «мистериум». Однако «мистериум» очень скоро разделил судьбу своих оптических «братьев» — «небулия» и «корония». Дело в том, что многие десятилетия яркие линии туманностей и солнечной короны не поддавались отождествлению с какими бы то ни было известными спектральными линиями. Поэтому их приписывали неким, неизвестным на земле, гипотетическим элементам — «небулию» и «коронию». Не будем снисходительно улыбаться над невежеством астрономов начала нашего века: ведь теории атома тогда еще не было! Развитие физики не оставило в периодической системе Менделеева места для экзотических «небожителей»: в 1927 г. был развенчан «небулий», линии которого с полной надежностью были отождествлены с «запрещенными» линиями ионизованных кислорода и азота, а в 1939—1941 гг. было убедительно показано, что загадочные линии «корония» принадлежат многократно ионизованным атомам железа, никеля и кальция.

Если для «развенчания» «небулия» и «корония» потребовались десятилетия, то уже через несколько недель после открытия стало ясно, что линии «мистериума» принадлежат обыкновенному гидроксилу, но только находящемуся в необыкновенных условиях.

Дальнейшие наблюдения, прежде всего, выявили, что источники «мистериума» имеют исключительно малые угловые размеры. Это было показано с помощью нового, весьма эффективного метода исследований, получившего название «радиоинтерферометрия на сверхдлинных базах». Суть метода сводится к одновременным наблюдениям источников на двух радиотелескопах, удаленных друг от друга на расстояния в несколько тысяч *км*. Как оказывается, угловое разрешение при этом определяется отношением длины волны к расстоянию между радиотелескопами. В нашем случае эта величина может быть $\sim 3 \cdot 10^{-8}$ *рад* или нескольких тысячных секунды дуги! Заметим, что в оптической астрономии такое угловое разрешение пока совершенно недостижимо.

Такие наблюдения показали, что существуют по крайней мере три класса источников «мистериума». Нас здесь будут интересовать источники I класса. Все они находятся внутри газовых ионизованных туманностей, например в знаменитой туманности Ориона. Как уже говорилось, их размеры чрезвычайно малы, во много тысяч раз меньше размеров туманности. Всего интереснее, что они обладают сложной пространственной структурой. Рассмотрим, например, источник, находящийся в туманности, получившей название W 3.

На рис. 6 приведен профиль линии OH, излучаемой этим источником. Как видим, он состоит из большого количества узких ярких линий. Каждой линии соответствует определенная скорость движения по лучу зрения излучающего эту линию облака. Величина этой скорости определяется эффектом Доплера. Различие скоростей (по лучу зрения) между различными облаками достигает ~ 10 *км/сек*. Упомянутые выше интерферометрические наблюдения показали,

что облака, излучающие каждую линию, пространственно не совпадают. Картина получается такая: внутри области размером приблизительно 1,5 секунды дуги движутся с разными скоростями

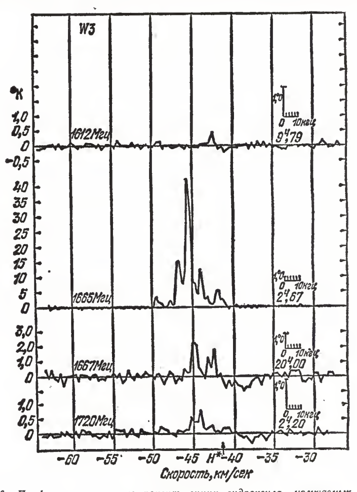


Рис. 6. Профиль четырех компонент линии гидроксила, излучаемых источником W3.

около 10 компактных облаков. Каждое облако излучает одну определенную (по частоте) линию. Угловые размеры облаков очень малы, порядка нескольких тысячных секунды дуги. Так как расстояние до туманности W 3 известно (около 2 000 *пс*), то угловые размеры легко могут быть переведены в линейные. Оказывается, что линейные размеры области, в которой движутся облака, порядка 10^{-2} *пс*, а размеры каждого облака всего лишь на порядок величины больше расстояния от Земли до Солнца.

Возникают вопросы: что это за облака и почему они так сильно излучают в радиолиниях гидроксила? На второй вопрос ответ был получен довольно скоро. Оказалось, что механизм излучения вполне подобен тому, который наблюдался в лабораторных мазерах и лазерах.

Итак, источники «мистериума» — это гигантские, природные космические мазеры, работающие на волне линии гидроксила, длина которой 18 *см*. Именно в мазерах (а на оптических и инфракрасных частотах — в лазерах) достигается огромная яркость в линии, причем спектральная ширина ее мала. Как известно, усиление излучения в линиях благодаря такому эффекту возможно тогда, когда среда, в которой распространяется излучение, каким-либо способом «активизирована». Это означает, что некоторый «сторонний» источник энергии (так называемая «накачка») делает концентрацию атомов или молекул на исходном (верхнем) уровне аномально высокой. Без постоянно действующей «накачки» мазер или лазер невозможны. Вопрос о природе механизма «накачки» космических мазеров пока еще окончательно не решен. Однако скорее всего «накачкой» служит достаточно мощное инфракрасное излучение. Другим возможным механизмом «накачки» могут быть некоторые химические реакции.

Стоит прервать наш рассказ о космических мазерах для того, чтобы подумать, с какими удивительными явлениями сталкиваются астрономы в космосе. Одно из величайших технических изобретений нашего бурного века, играющее немалую роль в переживаемой нами теперь научно-технической революции, запросто реализуется в естественных условиях и притом — в громадном масштабе!

Поток радиоизлучения от некоторых космических мазеров настолько велик, что мог бы быть обнаружен даже при техническом уровне радиоастрономии лет 20 тому назад, т. е. еще до изобретения мазеров и лазеров! Для этого надо было «только» знать точную длину волны радиолинии ОН и заинтересоваться проблемой. Кстати, это не первый случай, когда в естественных условиях реализуются важнейшие научно-технические проблемы, стоящие перед человечеством. Термоядерные реакции, поддерживающие излучение Солнца и звезд (см. ниже), стимулировали разработку и осуществление проектов получения на Земле ядерного «горючего», которое в будущем должно решить все наши энергетические проблемы. Увы, мы пока еще далеки от решения этой важнейшей проблемы, которую природа решила «запросто». Полтора века тому назад основатель волновой теории света Френель заметил (по другому поводу, конечно): «Природа смеется над нашими трудностями». Как видим, замечание Френеля еще более справедливо в наши дни.

Вернемся, однако, к космическим мазерам. Хотя механизм «накачки» этих мазеров пока еще неясен, все же можно составить себе грубое представление о физических условиях в облаках, излучающих мазерным механизмом линию 18 *см*. Прежде всего, оказывается, что эти облака довольно плотны: в кубическом сантиметре там имеется по крайней мере 10^8—10^9 частиц, причем существенная

(а может быть и большая) часть их — молекулы. Температура вряд ли превышает две тысячи градусов, скорее всего она порядка 1000 градусов. Эти свойства резко отличны от свойств даже самых плотных облаков межзвездного газа. Учитывая еще сравнительно небольшие размеры облаков, мы невольно приходим к выводу, что они скорее напоминают протяженные, довольно холодные атмосферы звезд — сверхгигантов. Очень похоже, что эти облака есть не что иное, как ранняя стадия развития протозвезд, следующая сразу за их конденсацией из межзвездной среды. В пользу этого утверждения (которое автор этой книги высказал еще в 1966 г.) говорят и другие факты. В туманностях, где наблюдаются космические мазеры, видны молодые горячие звезды (см. ниже). Следовательно, там недавно закончился и, скорее всего, продолжается и в настоящее время, процесс звездообразования. Пожалуй, самое любопытное это то, что, как показывают радиоастрономические наблюдения, космические мазеры этого типа как бы «погружены» в небольшие, очень плотные облака ионизованного водорода. В этих облаках имеется очень много космической пыли, что делает их ненаблюдаемыми в оптическом диапазоне. Такие «коконы» ионизуются молодой, горячей звездой, находящейся внутри них. При исследовании процессов звездообразования весьма полезной оказалась инфракрасная астрономия. Ведь для инфракрасных лучей межзвездное поглощение света не так существенно.

Мы можем теперь представить следующую картину: из облака межзвездной среды, путем его конденсации, образуются несколько сгустков разной массы, эволюционирующих в протозвезды. Скорость эволюции различна: для более массивных сгустков она будет больше (см. дальше табл. 1). Поэтому раньше всего превратится в горячую звезду наиболее массивный сгусток, между тем как остальные будут более или менее долго задерживаться на стадии протозвезды. Их-то мы и наблюдаем как источники мазерного излучения в непосредственной близости от «новорожденной» горячей звезды, ионизующей не сконденсировавший в сгустки водород «кокона». Разумеется, эта грубая схема будет в дальнейшем уточняться, причем, конечно, в нее будут внесены существенные изменения. Но факт остается фактом: неожиданно оказалось, что некоторое время (скорее всего — сравнительно короткое) новорожденные протозвезды, образно выражаясь, «кричат» о своем появлении на свет, пользуясь новейшими методами квантовой радиофизики (т. е. мазерами)...

Спустя 2 года после открытия космических мазеров на гидроксиле (линия 18 *см*) было установлено, что те же источники одновременно излучают (также мазерным механизмом) линию водяных паров, длина волны которой 1,35 *см*. Интенсивность «водяного» мазера даже больше, чем «гидроксильного». Облака, излучающие линию H_2O, хотя и находятся в том же малом объеме, что и «гидроксильные» облака, движутся с другими скоростями и значительно более компактны. Нельзя исключать, что в близком будущем будут обнаружены и другие мазерные линии. Таким образом, со-

вершенно неожиданно радиоастрономия превратила классическую проблему звездообразования в ветвь наблюдательной астрономии *).

Оказавшись на главной последовательности и перестав сжиматься, звезда длительно излучает, практически не меняя своего положения на диаграмме «спектр — светимость». Ее излучение поддерживается термоядерными реакциями, идущими в центральных областях. Таким образом, главная последовательность представляет собой как бы геометрическое место точек на диаграмме «спектр — светимость», где звезда (в зависимости от ее массы) может длительно и устойчиво излучать благодаря термоядерным реакциям. Место звезды на главной последовательности определяется ее массой. Следует заметить, что имеется еще один параметр, определяющий положение равновесной излучающей звезды на диаграмме «спектр — светимость». Таким параметром является первоначальный химический состав звезды. Если относительное содержание тяжелых элементов уменьшится, звезда «ляжет» на диаграмме ниже. Именно этим обстоятельством объясняется наличие последовательности субкарликов. Как уже говорилось выше, относительное содержание тяжелых элементов у этих звезд в десятки раз меньше, чем у звезд главной последовательности.

Время пребывания звезды на главной последовательности определяется ее первоначальной массой. Если масса велика, излучение звезды имеет огромную мощность и она довольно быстро расходует запасы своего водородного «горючего». Так, например, звезды главной последовательности с массой, превышающей солнечную в несколько десятков раз (это горячие голубые гиганты спектрального класса O), могут устойчиво излучать, находясь на этой последовательности всего лишь несколько миллионов лет, в то время как звезды с массой, близкой к солнечной, находятся на главной последовательности 10—15 млрд. лет. Ниже приводится табл. 1, дающая вычисленную продолжительность гравитационного сжатия и пребывания на главной последовательности для звезд разных спектральных классов. В этой же таблице приведены значения масс, радиусов и светимостей звезд в солнечных единицах.

Из таблицы следует, что время пребывания на главной последовательности звезд, более «поздних», чем K0, значительно больше возраста Галактики, который по существующим оценкам близок к 10—15 млрд. лет.

«Выгорание» водорода (т. е. превращение его в гелий при термоядерных реакциях) происходит только в центральных областях звезды. Это объясняется тем, что звездное вещество перемешивается лишь в центральных областях звезды, где идут ядерные реакции, в то время как наружные слои сохраняют относительное содержание водорода неизменным. Так как количество водорода в центральных областях звезды ограниченно, рано или поздно (в за-

*) Более подробно о звездообразовании см. книгу автора: «Звезды: их рождение, жизнь и смерть».

ТАБЛИЦА 1

Спектральный класс	Масса	Радиус	Светимость	Время, лет	
				гравитационного сжатия	пребывания на главной последовательности
B0	17,0	9,0	30 000	$1{,}2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^6$
B5	6,3	4,2	1 000	$1{,}1 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^7$
A0	3,2	2,8	100	$4{,}1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^8$
A5	1,9	1,5	12	$2{,}2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^9$
F0	1,5	1,25	4,8	$4{,}2 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^9$
F5	1,3	1,24	2,7	$5{,}6 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^9$
G0	1,02	1,02	1,2	$9{,}4 \cdot 10^7$	$11 \cdot 10^9$
G2 (Солнце)	1,00	1,00	1,0	$1{,}1 \cdot 10^8$	$13 \cdot 10^9$
G5	0,91	0,92	0,72	$1{,}1 \cdot 10^8$	$17 \cdot 10^9$
K0	0,74	0,74	0,32	$2{,}3 \cdot 10^8$	$28 \cdot 10^9$
K5	0,54	0,54	0,10	$6{,}0 \cdot 10^8$	$70 \cdot 10^9$

висимости от массы звезды) он там практически весь «выгорит». Расчеты показывают, что масса и радиус центральной ее области, в которой идут ядерные реакции, постепенно уменьшаются, при

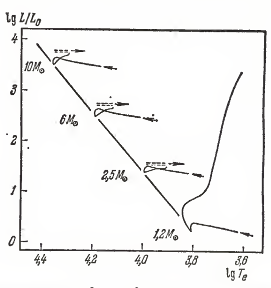


Рис. 7. Эволюционные треки для звезд равной массы на диаграмме «светимость — температура».

этом звезда медленно перемещается на диаграмме «спектр — светимость» вправо. Этот процесс происходит значительно быстрее у сравнительно массивных звезд. Если представить себе группу одновременно образовавшихся эволюционирующих звезд, то с тече-

нием времени главная последовательность на диаграмме «спектр — светимость», построенная для этой группы, будет как бы загибаться вправо.

Что же произойдет со звездой, когда весь (или почти весь) водород в ее ядре «выгорит»? Так как выделение энергии в центральных областях звезды прекращается, температура и давление не могут поддерживаться там на уровне, необходимом для противодействия силе тяготения, сжимающей звезду. Ядро звезды начнет сжиматься, а температура его будет повышаться. Образуется очень плотная горячая область, состоящая из гелия (в который превратился водород) с небольшой примесью более тяжелых элементов. Газ в таком состоянии носит название «вырожденного». Он обладает рядом интересных свойств, на которых мы здесь останавливаться не можем. В этой плотной горячей области ядерные реакции происходить не будут, но они будут довольно интенсивно протекать на периферии ядра, в сравнительно тонком слое. Вычисления показывают, что светимость звезды и ее размеры начнут расти. Звезда начнет «сходить» с главной последовательности, переходя в области красных гигантов. Далее, оказывается, что звезды-гиганты с меньшим содержанием тяжелых элементов будут иметь при одинаковых размерах более высокую светимость.

На рис. 7 приведены теоретически рассчитанные эволюционные треки на диаграмме «светимость — температура» поверхности для звезд разной массы. При переходе звезды в стадию красного гиганта скорость ее эволюции значительно увеличивается.

Для проверки теории большое значение имеет построение диаграммы «спектр— светимость» для отдельных звездных скоплений. Дело в том, что звезды одного и того же скопления (например, Плеяды) имеют одинаковый возраст. Сравнивая диаграммы «спектр — светимость» для разных скоплений — «старых» и «молодых», можно выяснить, как эволюционируют звезды. На рис. 8 и 9 приведены диаграммы «показатель цвета — светимость» для двух различных звездных скоплений. Скопление NGC 2254 — сравнительно молодое образование. На соответствующей диаграмме отчетливо видна вся главная последо-

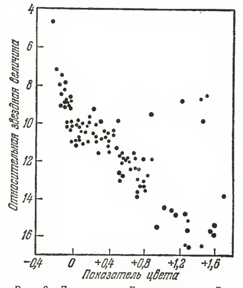


Рис. 8. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела для звездного скопления NGC 2254.

вательность, в том числе ее верхняя левая часть, где расположены горячие массивные звезды (показателю цвета — 0,2 соответствует температура 20 тыс. °К, т. е. спектр класса B).

Шаровое скопление M 3 — «старый» объект. Ясно видно, что в верхней части главной последовательности диаграммы, построенной для этого скопления, звезд почти нет. Зато ветвь красных гигантов у M 3 представлена весьма богато, в то время как у NGC 2254 красных гигантов очень мало. Это и понятно: у старого скопления M 3 большое число звезд уже успело «сойти» с главной

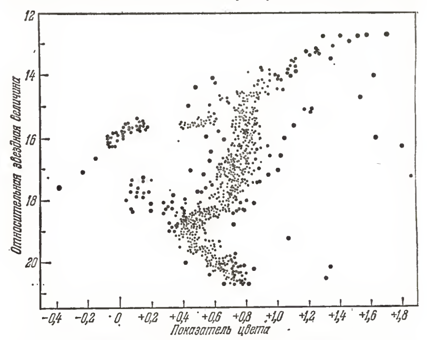


Рис. 9. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела для шарового скопления M 3.

последовательности, в то время как у молодого скопления NGC 2254 это произошло только с небольшим числом сравнительно массивных, быстро эволюционирующих звезд. Обращает на себя внимание, что ветвь гигантов для M 3 идет довольно круто вверх, а у NGC 2254 она почти горизонтальна. С точки зрения теории это можно объяснить значительно более низким содержанием тяжелых элементов у M 3. И действительно, у звезд шаровых скоплений (так же как и у других звезд, концентрирующихся не столько к галактической плоскости, сколько к галактическому центру) относительное содержание тяжелых элементов незначительно.

На диаграмме «показатель цвета — светимость» для M 3 видна еще одна почти горизонтальная ветвь. Аналогичной ветви на диаграмме, построенной для NGC 2254, нет. Теория объясняет появле-

ние этой ветви следующим образом. После того как температура сжимающегося плотного гелиевого ядра звезды — красного гиганта — достигнет 100—150 млн. °K, там начнет идти новая ядерная реакция. Эта реакция состоит в образовании ядра углерода из трех ядер гелия. Как только начнется эта реакция, сжатие ядра прекратится. В дальнейшем поверхностные слои звезды увеличивают свою температуру и звезда на диаграмме «спектр — светимость» будет перемещаться влево. Именно из таких звезд образуется третья горизонтальная ветвь диаграммы для М 3.

На рис. 10 схематически приведена сводная диаграмма «цвет — светимость» для 11 скоплений, из которых два (М 3 и М 92) шаровые. Ясно видно, как «загибаются» вправо и вверх главные последовательности у разных скоплений в полном согласии с теоретическими представлениями, о которых уже шла речь. Из рис. 10 можно сразу определить, какие скопления являются молодыми и какие старыми. Например, «двойное» скопление χ и h Персея молодое. Оно «сохранило» значительную часть главной последовательности. Скопление М 41 старше, еще старше скопление Гиады и совсем старым является скопление М 67, диаграмма «цвет — светимость» для которого очень похожа на аналогичную диаграмму для шаровых скоплений М 3 и М 92. Только ветвь гигантов у шаровых скоплений находится выше в согласии с различиями в химическом составе, о которых говорилось раньше.

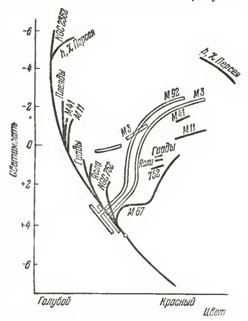


Рис. 10. Сводная диаграмма Герцшпрунга — Рессела для 11 звездных скоплений.

Таким образом, данные наблюдений полностью подтверждают и обосновывают выводы теории. Казалось бы, трудно ожидать наблюдательной проверки теории процессов в звездных недрах, которые закрыты от нас огромной толщей звездного вещества. И все же теория и здесь постоянно контролируется практикой астрономических наблюдений. Нужно отметить, что составление большого количества диаграмм «цвет — светимость» потребовало огромного труда астрономов-наблюдателей и коренного усовершенствования методов наблюдений. С другой стороны, успехи теории внутреннего строения и эволюции звезд были бы невозможны

без современной вычислительной техники, основанной на применении быстродействующих электронных счетных машин. Неоценимую услугу теории оказали также исследования в области ядерной физики, позволившие получить количественные характеристики тех ядерных реакций, которые протекают в звездных недрах. Без преувеличения можно сказать, что разработка теории строения и эволюции звезд является одним из крупнейших достижений астрономии второй половины XX столетия.

Развитие современной физики открывает возможность прямой наблюдательной проверки теории внутреннего строения звезд, и в частности Солнца. Речь идет о возможности обнаружения мощного потока нейтрино, который должно испускать Солнце, если в его недрах имеют место ядерные реакции. Хорошо известно, что нейтрино чрезвычайно слабо взаимодействует с другими элементарными частицами. Так, например, нейтрино может почти без поглощения пролететь через всю толщу Солнца, в то время как рентгеновское излучение может пройти без поглощения только через несколько миллиметров вещества солнечных недр. Если представить себе, что через Солнце проходит мощный пучок нейтрино с энергией каждой частицы в 10 млн. *эв*, то из нескольких десятков миллионов нейтрино поглотится только одно. Отсюда ясно, что обнаружить поток солнечных нейтрино чрезвычайно трудно. Вместе с тем это представляется весьма заманчивым, так как обнаруженные каким-либо способом солнечные нейтрино приходят к нам непосредственно из его глубин. Следовательно, изучая эти нейтрино, можно получить достаточно подробную информацию о физических условиях в центральных областях Солнца.

Каков же ожидаемый поток нейтрино от Солнца? Если, например, в его недрах идет углеродно-азотная реакция, то, как оказывается при превращении четырех ядер водорода в одно ядро гелия образуются два нейтрино. При «протон-протонной» реакции выход нейтрино будет другой. Энергетический спектр солнечных нейтрино сильно зависит от температуры центральных областей Солнца. Ожидаемая величина потока энергии от Солнца в форме нейтрино составляет несколько процентов от всего потока солнечного излучения. Это очень много.

Как же обнаружить поток солнечных нейтрино? Идею такого эксперимента впервые предложил много лет тому назад академик Б. М. Понтекорво. Солнечное нейтрино, взаимодействуя с ядром изотопа хлора Cl^{37}, захватывается последним. При этом изотоп хлора превращается в радиоактивный изотоп аргона Ar^{37} и испускается электрон. По причине исключительно слабого взаимодействия нейтрино с веществом такие процессы будут происходить чрезвычайно редко. Поэтому установка для обнаружения солнечных нейтрино, согласно имеющемуся американскому проекту, будет выглядеть необычно. Представьте себе большое количество специальных цистерн, наполненных прозрачной жидкостью перхлорэтиленом (C_2Cl_4). Количество этой жидкости достаточно, что-

бы, например, заполнить большой бассейн для плавания. В таком гигантском количестве перхлорэтилена можно ожидать образования около десятка изотопов аргона ежедневно из-за захвата солнечных нейтрино ядрами Cl^{37}, входящими в состав жидкости. Оказывается, что средства современной экспериментальной физики позволяют обнаружить это ничтожно малое количество вновь образовавшихся изотопов аргона.

Эту установку можно рассматривать как своеобразный гигантский термометр для измерения температуры центральных областей Солнца, ибо количество вновь образовавшихся изотопов аргона сильно зависит от энергетического спектра солнечных нейтрино, который, как уже упоминалось выше, чувствительно зависит от температуры солнечных недр.

Имеются основания полагать, что опыт типа описанного выше будет выполнен в течение ближайших нескольких лет и недра Солнца будут изучаться методами экспериментальной физики. Приходится только удивляться возможностям человеческого разума *).

Вернемся, однако, к вопросу о дальнейшей эволюции звезд. Что с ними произойдет, когда реакция «гелий — углерод» в центральных областях исчерпает себя, так же как и водородная реакция в тонком слое, окружающем горячее плотное ядро? Какая стадия эволюции наступит вслед за стадией красного гиганта? Совокупность данных наблюдений, а также ряд теоретических соображений говорят о том, что на этом этапе эволюции звезды, масса которых меньше, чем 1,2 массы Солнца, существенную часть своей массы, образующую их наружную оболочку, «сбрасывают». Такой процесс мы наблюдаем, по-видимому, как образование так называемых «планетарных туманностей» (рис. VIII). После того как от звезды отделится со сравнительно небольшой скоростью наружная оболочка, «обнажатся», ее внутренние, очень горячие слои. При этом отделившаяся оболочка будет расширяться, все дальше и дальше отходя от звезды.

Мощное ультрафиолетовое излучение звезды — ядра планетарной туманности — будет ионизовать атомы в оболочке, возбуждая из свечение. Через несколько десятков тысяч лет оболочка рассеется и останется только небольшая очень горячая плотная звезда. Постепенно, довольно медленно остывая, она превратится в белый карлик.

Таким образом белые карлики как бы «вызревают» внутри звезд — красных гигантов — и «появляются на свет» после отделения наружных слоев гигантских звезд. В других случаях сбрасывание наружных слоев может происходить не путем образования планетарных туманностей, а путем постепенного истечения атомов. Так или иначе белые карлики, в которых весь водород «выгорел»

*) Такой эксперимент был выполнен недавно в США. Оказывается, что солнечных нейтрино раз в десять меньше, чем можно было ожидать. Возможно это объясняется несовершенством существующих моделей солнечных недр, хотя причины могут быть и более глубокими (См. книгу автора «Звезды:...»).

и ядерные реакции прекратились, по-видимому, представляют собой заключительный этап эволюции большинства звезд. Логическим выводом отсюда является признание генетической связи между самыми поздними этапами эволюции звезд и белыми карликами. Постепенно остывая, они все меньше и меньше излучают, переходя в невидимые «черные» карлики. Это мертвые, холодные звезды очень большой плотности, в миллионы раз плотнее воды. Их размеры меньше размеров земного шара, хотя массы сравнимы с солнечной. Процесс остывания белых карликов длится много сотен миллионов лет. Так кончает свое существование большинство звезд. Однако финал жизни сравнительно массивных звезд может быть значительно более драматическим. Об этом будет идти речь в следующей главе.

Мы неоднократно подчеркивали, что скорость эволюции звезд определяется их первоначальной массой. Так как по ряду признаков со времени образования нашей звездной системы — Галактики — прошло около 10—15 млрд. лет, то за это конечное (хотя и огромное) время весь описанный эволюционный путь прошли только те звезды, массы которых превышают некоторую величину. По-видимому, эта «критическая» масса всего лишь на 10—20% превышает массу Солнца. С другой стороны, как уже подчеркивалось, процесс образования звезд из межзвездной газово-пылевой среды происходил в нашей Галактике непрерывно. Он происходит и сейчас. Именно поэтому мы наблюдаем горячие массивные звезды в верхней левой части главной последовательности. Но даже звезды, образовавшиеся в самом начале формирования Галактики, если масса их меньше чем 1,2 солнечной, еще не успели сойти с главной последовательности. Заметим, кстати, что темп звездообразования в настоящее время значительно ниже, чем много миллиардов лет назад. Солнце образовалось около 5 млрд. лет назад, когда Галактика уже давно сформировалась и в основных чертах была сходна с «современной». Вот уже по крайней мере 4,5 млрд. лет оно «сидит» на главной последовательности, устойчиво излучая благодаря ядерным реакциям превращения водорода в гелий, протекающим в его центральных областях. Сколько еще времени это будет продолжаться? Расчеты показывают, что наше Солнце станет красным гигантом через 8 млрд. лет. При этом его светимость увеличится в сотни раз, а радиус — в десятки. Эта стадия эволюции нашего светила займет несколько сот миллионов лет *). Наконец, тем или иным способом гигантское Солнце сбросит свою оболочку и скорее всего превратится в белый карлик. Вообще говоря, нам, конечно, небезразлична судьба Солнца, так как с нею тесно связано развитие жизни на Земле.

*) Удивительно, что такую эволюцию Солнца предсказал Уэллс задолго до возникновения теоретической астрофизики. Его путешественник по времени, как, может быть, помнит читатель, увидел в далеком будущем над пустынным океаном огромное красное Солнце... Правда, Уэллс не учел, что температура Земли при этом была бы очень высокой, порядка 300—500 °С. Ведь светимость такого Солнца — красного гиганта, очень велика... Но не будем мелочно придираться к великому провидцу...

5

Сверхновые звезды, пульсары и «черные дыры»

В предыдущей главе была набросана картина эволюции «нормальной» звезды от момента ее зарождения в виде сгустка сжимающейся газово-пылевой туманности до глубокой «старости» — сверхплотного холодного «черного» карлика. Однако не все звезды проходят такой «спокойный» путь развития. Некоторые на определенном этапе своей эволюции взрываются, вспыхивая могучим космическим фейерверком. В таких случаях говорят о вспышке «сверхновой» звезды. От «сверхновых» звезд следует отличать «обычные» новые звезды. Мощность вспышки у этих звезд в тысячи раз меньше, чем у сверхновых. Вспыхивают новые звезды сравнительно часто (в нашей Галактике — около ста вспышек в год). Для новых звезд характерна повторяемость вспышек. При каждой такой вспышке звезда выбрасывает с большой скоростью 10^{-3}—10^{-5} своей массы. Доказано, что все новые звезды являются очень тесными двойными системами (см. гл. 8). Вспышки новых не приводят к существенному изменению структуры звезд. Напротив, вспышка сверхновой — это радикальное изменение, и даже частичное разрушение структуры звезды.

Пока нам еще не известны катастрофы, по своим масштабам более грандиозные, чем вспышки сверхновых *). За какие-нибудь сутки вспыхнувшая звезда увеличивает свою светимость иногда в сотни миллионов раз. Бывает так, что в течение короткого времени одна звезда излучает света больше, чем миллиарды звезд той галактики, в которой произошла вспышка.

В отличие от вспышек «обыкновенных» новых звезд, это явление принадлежит к числу весьма редких. В больших звездных системах, подобных нашей Галактике, вспышки сверхновых происходят в среднем раз в столетие. Поэтому такие вспышки изредка наблюда-

*) В последнее время, по-видимому, обнаружены удивительные объекты — взрывающиеся ядра галактик, явление несравненно более грандиозное, чем вспышка сверхновых (см. гл. 6).

ются в других галактиках (рис. IX). Если держать систематически «под наблюдением» несколько сот галактик, то можно с большой вероятностью утверждать, что в течение одного года хотя бы в одной из таких галактик вспыхнет сверхновая звезда. Во всяком случае, такой способ наблюдений гораздо более целесообразен, чем ожидание в собственной Галактике вспышки в течение нескольких столетий...

Тем не менее история сохранила довольно значительное число хроник и даже научных трактатов, содержащих описание вспышек сверхновых в нашей Галактике. Так, например, сохранился ряд китайских хроник, в которых рассказывается о появлении на небе в июле 1054 г. «звезды-гостьи». Эта звезда настолько ярка, что ее видели даже днем; по своему блеску она превосходила Венеру — самое яркое светило неба после Солнца и Луны. Несколько месяцев звезда была видна невооруженным глазом, а потом постепенно погасла.

Через семь с половиной веков французский астроном Шарль Мессье, составляя знаменитый каталог туманностей, под № 1 поместил объект необычайной формы. Впоследствии этот объект получил название «Крабовидная туманность». Фотография этой туманности, снятая в красных лучах, приведена на рис. X. Дальнейшие наблюдения показали, что Крабовидная туманность медленно расширяется, как бы «расползаясь» по небу. Так как расстояние до этой туманности превышает 1000 *пс*, то заметное, хотя и медленное, увеличение ее размеров на небе означает, что скорость разлета образующих ее газов огромна. Эта скорость достигает 1000 *км/сек*, т. е. больше, чем в сто раз превосходит скорости искусственных спутников Земли. Между тем скорость движения обычных газовых туманностей в Галактике редко превышает 20—30 *км/сек*. Только гигантских масштабов взрыв мог сообщить такой большой массе газа столь высокую скорость.

Из наблюдаемой величины расплывания Крабовидной туманности следует, что приблизительно 900 лет назад вся туманность была сосредоточена в очень малом объеме. В сочетании с тем, что Крабовидная туманность находится как раз в той области неба, где некогда вспыхнула удивительная «звезда-гостья», наблюдаемая скорость расширения доказывает, что эта туманность не что иное, как остаток грандиозной космической катастрофы — вспышки, сверхновой, которая произошла в 1054 г.

В истории астрофизики последних полутора десятилетий Крабовидная туманность сыграла особенно важную роль. И это не случайно. Ведь эта туманность — один из ближайших и поэтому лучше других исследовавшихся остатков взрыва звезды. Тут и там по небу разбросаны удивительные, характерной формы туманности — остатки некогда вспыхивавших в нашей звездной системе сверхновых. Две такие туманности приведены на рис. XI и XII. Все они (за немногими исключениями) «старше» Крабовидной. Так, возраст туманностей на рис. XI и XII исчисляется несколькими десятками тысячелетий. Казалось бы, очень легко спутать такие объекты с обык-

новенными газовыми, так называемыми «диффузными» туманностями, подобными приведенной на рис. XIII. Есть, однако, одно обстоятельство, которое безошибочно позволяет отличить туманности — остатки вспышек сверхновых звезд — от обыкновенных туманностей.

В 1949 г. было обнаружено, что Крабовидная туманность является мощным источником радиоизлучения. Вскоре удалось объяснить природу этого явления: излучают сверхэнергичные электроны, движущиеся в магнитных полях, находящихся в этой туманности. Раньше мы уже упоминали, что та же причина объясняет общее радиоизлучение Галактики. Таким образом, при вспышке сверхновой звезды каким-то способом (пока еще до конца не понятым) образуется огромное количество частиц сверхвысоких энергий — космических лучей. Применяя теорию «синхротронного» излучения релятивистских электронов, по измеренному потоку радиоизлучения и известным расстояниям и размерам Крабовидной туманности удалось оценить полное количество находящихся в ней космических лучей. По мере расширения и рассеяния туманности заключенные в ней космические лучи выходят в межзвездное пространство. Если учесть, как часто вспыхивают сверхновые звезды в Галактике, то образующихся при этих вспышках космических лучей оказывается достаточно для заполнения ими всей Галактики с наблюдаемой плотностью.

Таким образом, впервые со всей очевидностью удалось доказать, что вспышки сверхновых звезд являются одним из основных источников пополнения Галактики космическими лучами; кроме того, они обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами. Это имеет огромное значение для эволюции звезд и всей Галактики в целом.

Крабовидная туманность обладает еще одной удивительной особенностью. Как показал автор этой книги в 1953 г., ее оптическое излучение, по крайней мере на 95%, обусловлено также сверхэнергичными электронами, т. е. имеет «синхронную» природу. Энергия электронов, излучающих в оптическом диапазоне длин волн, в сотни раз больше энергии электронов, излучающих радиоволны, она достигает 10^{11}—10^{12} *эв*. На основе новой теории оптического излучения Крабовидной туманности удалось предсказать, что это излучение должно быть поляризованным. Советские и американские наблюдения полностью подтвердили этот вывод теории. Тем самым все теоретические выводы, касающиеся природы радиоизлучения и оценок количества космических частиц, нашли полное подтверждение. В настоящее время синхротронное о п т и ч е с к о е излучение обнаружено еще у нескольких объектов, преимущественно радиогалактик. Его исследование имеет очень большое значение для астрономии и физики.

В 1963 г. при помощи ракеты с установленными на ней приборами удалось обнаружить довольно мощное рентгеновское излучение от Крабовидной туманности. В следующем, 1964 г., во время покрытия этой туманности Луной удалось показать, что этот

источник рентгеновского излучения протяженен, хотя его угловые размеры в 5 раз меньше угловых размеров «Краба». Следовательно, рентгеновское излучение испускает не звезда, некогда вспыхнувшая как сверхновая, а сама туманность. Скорее всего рентгеновское излучение Крабовидной туманности имеет также синхротронную природу и обусловлено сверхэнергичными релятивистскими электронами с энергией порядка 10^{13}—10^{14} *эв*.

Дальнейшие наблюдения показали, что все без исключения туманности — остатки вспышек сверхновых звезд — оказываются более или менее мощными источниками радиоизлучения, имеющего ту же природу, что и у Крабовидной туманности. Особенно мощным источником радиоизлучения является туманность, находящаяся в созвездии Кассиопеи. На метровых волнах поток радиоизлучения от нее в 10 раз превышает поток от Крабовидной туманности, хотя она почти в 2 раза дальше последней. В оптических лучах эта быстро расширяющаяся туманность очень слаба. Как сейчас доказано, туманность в Кассиопее — остаток вспышки сверхновой, имевшей место около 300 лет назад. Не совсем ясно, почему вспыхнувшую звезду тогда не заметили. Ведь уровень развития астрономии в Европе был тогда довольно высок.

Туманности — остатки вспышек сверхновых звезд, случившихся даже десятки тысяч лет назад, выделяются среди других туманностей своим мощным радиоизлучением. В частности, источниками радиоизлучения, правда, раз в 10 менее мощными, чем Крабовидная туманность, являются туманности, показанные на рис. XI и XII.

До сих пор речь шла преимущественно о туманностях, образующихся при вспышках сверхновых звезд. Что же можно сказать о самих вспыхивающих звездах? Как уже упоминалось, данные наблюдений относятся к сверхновым, вспыхивающим в других звездных системах. В нашей Галактике последняя такая вспышка наблюдалась в 1604 г. Эту звезду, в частности, наблюдал Кеплер. Тогда еще не был изобретен телескоп, а спектральный анализ — этот мощнейший метод астрономических исследований — стал применяться только спустя два с половиной столетия...

По наблюдениям вспышек в других галактиках удалось установить, что сверхновые бывают двух типов. Сверхновые I типа — это довольно старые звезды с массой, лишь немного превосходящей солнечную. Такие сверхновые вспыхивают в эллиптических галактиках, а также в спиральных звездных системах. В частности, Сверхновая 1054 г., остатком вспышки которой является Крабовидная туманность, принадлежала к этому типу *). Мощность излучения у таких сверхновых особенно велика, хотя массы выбро-

---

*) Сверхновые I типа характеризуются совершенно определенной зависимостью звездной величины от времени (так называемой «кривой блеска»). Анализ старинных китайских и японских хроник позволил восстановить кривую блеска сверхновой 1054 г. Таким образом и был сделан вывод о ее принадлежности к I типу.

шенных газовых оболочек не превышают нескольких десятых массы Солнца.

Так называемые сверхновые II типа вспыхивают в спиральных галактиках. Они никогда не вспыхивают в эллиптических звездных системах. Сверхновые этого типа, как принято думать, массивные молодые звезды. Именно по этой причине они, как правило, наблюдаются в спиральных ветвях, где еще продолжает идти процесс звездообразования. Не исключено, что если не бóльшая, то по крайней мере значительная часть горячих массивных звезд спектрального класса O кончает свое существование вспышкой сверхновой этого типа. Масса газов, выброшенных такими сверхновыми, может в несколько раз превосходить солнечную. Поэтому после вспышки эти газы существуют, не рассеиваясь, значительно дольше, чем менее массивные оболочки сверхновых I типа. Изображенные на рис. 21 и 22 туманности суть остатки вспышек сверхновых II типа. К этому же типу принадлежит и мощнейшая радиотуманность в созвездии Кассиопеи, о которой уже шла речь.

Существует несколько гипотез о причине взрывов звезд, наблюдаемых как сверхновые. Однако общепризнанной теории, основывающейся на известных фактах и могущей предсказать новые явления, пока нет. Можно, однако, не сомневаться, что такая теория будет создана в самом ближайшем времени. По всей вероятности, причиной взрыва является катастрофически быстрое выделение потенциальной энергии тяготения при «спаде» внутренних слоев звезды к ее центру.

Мы сейчас остановимся на этой важной для всей современной астрофизики проблеме более подробно. В предыдущей главе была нарисована общая картина образования звезд из межзвездной среды. Решающим фактором в этом процессе является сила всемирного тяготения, которая всегда стремится сблизить отдельные части материи и тем самым образовать более компактные тела. Можно сразу же задать «детский» вопрос: «А есть ли предел уплотнения вещества под воздействием силы тяжести? Не может ли звезда в конце концов сжаться в точку?» Хорошо известно, что многие из так называемых «детских» вопросов самым глубоким образом затрагивают коренные проблемы мироздания и бытия. Может быть, именно поэтому они и называются детскими... Сформулированный выше вопрос как раз относится к этой категории.

Как же отвечает на него современная наука? Когда протозвезда сожмется до таких размеров, что температура в ее недрах станет достаточно высокой и пойдут ядерные реакции, она перестанет сжиматься и будет долгое время находиться в равновесном состоянии. Это равновесие осуществляется в каждом элементе ее объема под действием двух равных и противоположных направленных сил: гравитации и разности газового давления. Первая сила стремится сжать звезду, вторая — расширить.

Звезда в таком равновесном состоянии находится на главной последовательности, о чем речь шла в предыдущей главе. Но равно-

весие не будет продолжаться вечно. Когда ядерное горючее — водород в недрах звезды — будет исчерпано, наступят радикальные и довольно быстрые перемены в ее жизни. В предыдущей главе мы писали, что после исчерпания водородного горючего из центральной части звезды образуется весьма горячее и плотное ядро, а сама звезда превращается в красный гигант, а затем, после «сброса» оболочки — в белый карлик.

Но такой путь эволюции могут преодолеть только звезды, у которых массы, оставшиеся после сброса оболочки, не слишком велики, например не больше 1,2 солнечной массы. Звезды, у которых оставшаяся масса находилась в пределах 1,2—2,5 солнечных масс, как показывают надежные теоретические расчеты, не могут образовать устойчивую конфигурацию белого карлика. Они катастрофически быстро сжимаются до ничтожных размеров порядка 10 *км*, причем их средняя плотность достигает 10^{15} *г/см*^{3}, что превышает плотность атомного ядра. Как показывают специальные теоретические исследования, вещество таких звезд состоит из чрезвычайно плотно «упакованных» нейтронов, ибо свободные электроны как бы «вдавливаются» в протоны. Именно поэтому такие объекты получили название «нейтронных звезд». Расчеты показывают, что первоначальная температура поверхности у нейтронных звезд около миллиарда градусов. В дальнейшем нейтронная звезда будет быстро остывать, а температура ее поверхности быстро падать.

Открытые теоретически «на кончике пера» нейтронные звезды должны были представлять собой объекты, чрезвычайно трудные для наблюдений. В самом деле, совершенно безнадежно обнаружить тепловое оптическое излучение такой звезды по причине ничтожно малой излучательной поверхности. Если, например, температура поверхности нейтронной звезды около 6000° (т. е. такая же, как у Солнца), а радиус равен 6 *км* (т. е. примерно в 100 000 раз меньше солнечного), то светимость ее будет в десять миллиардов раз меньше, чем у Солнца. Это означает, что ее абсолютная величина будет близка к 30. Если бы даже такая звезда находилась от нас на расстоянии всего лишь 1 *пс* (т. е. ближе любой другой звезды), ее блеск соответствовал бы объекту 25 величины и даже в самый большой из существующих телескопов ее нельзя было бы обнаружить.

Высокая температура поверхности образовавшихся после взрыва сверхновых нейтронных звезд позволяла надеяться, что можно будет обнаружить их рентгеновское излучение.

В самом деле, если температура поверхности такой звезды миллиард градусов, то, согласно известному закону Стефана — Больцмана, поток излучения с единицы поверхности нагретого непрозрачного тела пропорционален четвертой степени его температуры; наша крохотная нейтронная звезда будет излучать $\sim 10^{45}$ *эрг/сек*, т. е. больше, чем вся наша Галактика. Однако совершенно очевидно, что такую огромную мощность нейтронная звезда будет излучать только очень короткий промежуток времени. Остывание будет про-

исходить главным образом за счет излучения нейтрино, которые в больших количествах образуются во всем ее объеме при столь высокой температуре. Но даже если температура поверхности была бы «всего лишь» 10 млн. градусов, мощность ее рентгеновского излучения была бы $\sim 10^{37}$ *эрг/сек*, что в несколько тысяч раз больше мощности всего излучения Солнца.

Еще в 1963 г. в созвездии Скорпиона был открыт с помощью счетчика фотонов, установленного на борту ракеты, первый рентгеновский источник, находящийся за пределами Солнечной системы. Вскоре было открыто рентгеновское излучение от Крабовидной туманности (см. выше). В настоящее время известно уже свыше сотни рентгеновских источников, причем только 9 из них отождествляются с туманностями — остатками вспышек сверхновых. Бóльшая часть рентгеновских источников—звездообразные объекты. Сразу же после открытия в 1964—1965 гг. многие астрономы и физики решили, что наконец-то долгожданные нейтронные звезды обнаружены... Увы, их ликование, как это часто бывало в истории астрономии, оказалось преждевременным... Теоретики подсчитали, что остывание нейтронных звезд происходит даже быстрее, чем считали раньше: всего лишь за несколько месяцев температура поверхности нейтронной звезды упадет значительно ниже десяти миллионов градусов, а такой объект методами современной рентгеновской астрономии уже не сможет быть обнаружен. Столь быстрый срок остывания нейтронных звезд, во всяком случае за время, много меньшее, чем средний промежуток между вспышками сверхновых, означает, что среди наблюдаемых космических рентгеновских источников нейтронных звезд быть не может *).

Таким образом, надежда обнаружить нейтронные звезды по их тепловому рентгеновскому излучению оказалась напрасной.

И когда этот печальный факт стал очевиден, буквально «как гром среди ясного неба», было сделано открытие, позволившее сделать таинственные нейтронные звезды наблюдаемыми объектами. Речь идет об открытии *пульсаров*, едва ли не самом впечатляющем открытии в астрономии за несколько последних десятилетий.

Мы слишком часто злоупотребляем словом «открытие», отчего оно постепенно «стирается». Между тем в истории науки количество подлинных открытий очень невелико...

Даже по самым строжайшим критериям обнаружение пульсаров действительно является подлинным открытием. Это открытие, как это всегда бывает с настоящим открытием, произошло случайно. Летом 1967 г. аспирантка известного английского радиоастронома Хьюиша мисс Бэлл, неожиданно обнаружила на небе совершенно необычный радиоисточник. Этот источник излучал кратковременные радиоимпульсы, которые строго периодически, через каждые 1,33 секунды, повторялись. Вскоре были обнаружены еще три таких же источника с другими также «почти секундными» периодами.

*) Впрочем, см. гл. 8.

Это открытие настолько ошеломило исследователей, что они, заподозрив, что эти сигналы имеют искусственное происхождение и посылаются некими «сверхцивилизациями» (см. гл. 3 нашей книги), засекретили эти наблюдения и в течение почти полугода никто об этом не знал — случай беспрецедентный в истории астрономии... Только после того, как они убедились, что эти сигналы — не результат активности внеземных разумных цивилизаций, результаты наблюдений были опубликованы.

Не сразу было понято, что причиной строгой периодичности радиоимпульсов от этих новых источников (получивших название «пульсары») является быстрое вращение звездоообразных объектов.

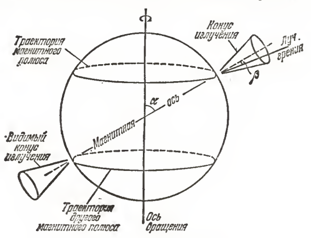


Рис. 11. Модель пульсара.

Только вращение массивного тела может объяснить удивительное постоянство (с точностью до стомиллионной доли) периодов пульсаров. Более тщательные наблюдения показали, что на самом деле периоды не строго постоянны, а медленно растут. Представим себе, что излучение радиоволн не равномерно по всем направлениям, а сосредоточено внутри некоторого конуса, ось которого образует определенный угол с осью вращения. Теперь вообразим себе наблюдателя, который в какой-то момент времени находится на продолжении оси конуса. Ясно, что он сможет наблюдать радиоизлучение. Это будет возможно в течение некоторого времени до тех пор, пока из-за вращения звезды ось конуса уйдет достаточно далеко. Однако через промежуток времени, равный периоду вращения звезды, радиоизлучение снова можно будет наблюдать. Эта простая модель пульсара изображена на рис. 11.

Что же это за звезды, быстрое вращение которых есть причина наблюдаемого явления пульсаров? В 1967 г. был открыт пульсар с рекордно коротким периодом в 0,033 сек. (об этом замечательном пульсаре речь пойдет дальше). Так быстро вращаться может только

очень маленькое тело. Ведь линейная скорость вращения на экваторе определяется школьной формулой: $v = \frac{2\pi R}{T}$, где R — радиус вращающегося тела, T — период его вращения. Из этой формулы следует, что при $T = 1/30$ сек., учитывая, что скорость вращения никак не может превышать скорость света, радиус тела не превышает 1500 *км*, что в 4 раза меньше Земли. Но это является очень грубой оценкой верхней границы размеров вращающегося тела. Так как линейная экваториальная скорость вращения по простым причинам должна быть в десятки раз меньше скорости света, непосредственно ясно, что линейные размеры пульсаров не могут превышать несколько десятков километров. Но если это так, то пульсары — это не что иное, как нейтронные звезды!

Имеется и другое доказательство этого важнейшего вывода. Упомянутый выше рекордно-короткопериодический пульсар (получивший название NP 0532) расположен... в центре Крабовидной туманности! Другой пульсар, период которого всего лишь в 3 раза длиннее (0,089 сек.), также находится внутри туманности, являющейся более старым остатком вспышки сверхновой. Итак, пульсары находятся там, где положено находиться нейтронным звездам, которые должны образоваться при вспышках сверхновых! То обстоятельство, что не во всех остатках вспышек сверхновых наблюдаются пульсары и только малая часть пульсаров (их сейчас известно свыше семидесяти) находится в остатках сверхновых, не должно нас смущать. Дело в том, что пульсар может быть обнаружен только при «благоприятной» по отношению к нам ориентации его оси вращения. Это ясно из рис. 11. Учитывая это, оказывается, что едва ли 5% всех пульсаров можно хотя бы в принципе наблюдать. Это просто поразительно, что Крабовидная туманность, помимо тех замечательных особенностей, о которых говорилось выше, еще имеет и пульсар, «удачно» ориентированный по отношению к Земле...

С другой стороны, легко понять, почему большинство пульсаров не связано с туманностями — остатками вспышек сверхновых. Дело в том, что последние представляют собой подобно планетарным туманностям сравнительно короткоживущие образования. Благодаря расширению образующих их газовых волокон и находящихся там космических лучей они «расплываются» и через сотню тысяч лет перестают быть наблюдаемыми. Между тем возраст большинства пульсаров исчисляется миллионами и десятками миллионов лет. Это следует из наблюдаемого очень медленного замедления их вращения. Ясно, например, что если за год период какого-нибудь пульсара изменится на одну десятимиллионную долю, то его возраст должен быть близок к десяти миллионам лет. Итак, пульсары «переживают» туманности, в которые они были «погружены» при рождении.

На основании наблюдений пульсаров можно нарисовать такую картину развития нейтронной звезды. Она образуется при вспышке

сверхновой как быстро вращающийся объект огромной плотности. Причину быстрого вращения понять легко: это следствие одного из основных законов механики — сохранение момента количества движения. Проиллюстрируем этот закон на примере воображаемой звезды, являющейся «двойником» нашего Солнца. Период ее вращения вокруг оси очень велик — около месяца (о вращении звезд подробнее см. гл. 10).

Допустим теперь, что по каким-то причинам эта звезда катастрофически сжалась, причем ее радиус R стал равным 10 *км*, т. е. уменьшился почти в 100 000 раз. Если ее масса M при этом не изменилась, то из закона сохранения момента количества движения

$$vMR = \text{const}$$

следует, что экваториальная скорость увеличится в 100 000 раз и составит почти половину скорости света! Период же вращения уменьшится почти в десять миллиардов раз и будет меньше, чем тысячная доля секунды.

На самом деле, так как часть момента количества движения уносится выброшенным во время вспышки сверхновой веществом, экваториальная скорость вращения образовавшейся при этой катастрофе нейтронной звезды будет немного меньше, а период вращения длинней, но суть дела от этого не меняется: только что образовавшаяся нейтронная звезда должна вращаться с огромной скоростью.

Теперь обратим наше внимание на другое обстоятельство. Как уже упоминалось в гл. 2, на звездах имеются магнитные поля. Допустим, что на поверхности звезды, которая должна вспыхнуть как сверхновая, магнитное поле невелико, скажем ~ 100 *гс* (это все же больше, чем на поверхности нашего Солнца). При катастрофическом сжатии звезды должен остаться неизменным поток магнитных силовых линий через ее поверхность, т. е.

$$H \cdot R^2 = \text{const},$$

и если радиус R уменьшается в 100 000 раз, то магнитное поле H обязано увеличиться в 10 миллиардов раз, достигнув чудовищного значения 10^{12} *гс*! Чтобы почувствовать силу этого магнитного поля, приведем такой пример. Плотность магнитной энергии $W_м$ связана с величиной магнитного поля формулой

$$W_м = \frac{H^2}{8\pi}.$$

При $H = 10^{12}$ *гс* $W_м$ будет равно $4 \cdot 10^{22}$ *эрг*/см^3. Величина $\rho_м = \frac{W_м}{c^2}$, согласно принципу эквивалентности массы и энергии, есть плотность вещества, соответствующего плотности энергии $W_м$. Оказывается, что $\rho_м \sim 50$ *г/см*^{3}, что плотнее всех известных на Земле веществ. Плотность же «обычного» вещества в атмосфере нейтронной

звезды на много порядков меньше. Такая ситуация нигде в Космосе не встречается.

Итак, нейтронная звезда не только быстро вращается, но и сильнейшим образом намагничена, причем ее магнитная ось не совпадает с осью вращения. Оказывается, что магнитная ось нейтронной звезды как раз и является осью того конуса, в пределах которого направлено радиоизлучение (см. рис. 11). Однако истинная причина столь мощного радиоизлучения давно уже остывшей и, казалось бы, мертвой нейтронной звезды пока остается неясной, хотя в разного рода остроумных гипотезах недостатка нет. Несомненно только одно: механизм радиоизлучения должен быть както образом связан с магнетизмом и быстрым вращением нейтронных звезд. Именно высокая «активность» нейтронных звезд оказалась совершенно неожиданной и непредсказуемой. Только поэтому нейтронные звезды были обнаружены совсем не там, где их искали... Это и дает нам право называть обнаружение нейтронных звезд подлинным открытием.

Как уже говорилось выше, период вращения пульсаров — нейтронных звезд непрерывно растет. Так как кинетическая энергия вращающегося тела обратно пропорциональна квадрату периода, то налицо непрерывное уменьшение кинетической энергии вращения пульсаров, обусловленное их «торможением». Каковы же причины торможения? По-видимому, основной причиной торможения является излучение этими сильно намагниченными вращающимися объектами сверхдлинных электромагнитных волн, частота которых равна частоте вращения пульсаров. Если, например, эта частота равна 1 «обратной секунде» («герцу») (типичная величина для пульсаров) длина волны будет 300 000 *км*. Существуют и другие причины торможения, например выбрасывание из пульсаров струй вещества. Для очень молодых пульсаров, у которых период вращения меньше одной сотой секунды, основную роль в торможении может играть излучение так называемых «гравитационных волн» — процесс, являющийся следствием общей теории относительности Эйнштейна. Заметим, однако, что пока еще гравитационные волны прямыми наблюдениями не обнаружены, что объясняется огромными экспериментальными трудностями. Автор, однако, не будет удивлен, если первым космическим объектом, от которого будут обнаружены гравитационные волны, будет все та же Крабовидная туманность, вернее, находящийся там пульсар NP 0532.

Об этом замечательном пульсаре стоит еще сказать пару фраз отдельно. Это — самый молодой и быстрее всех вращающийся пульсар. Его период растет (относительно) значительно быстрее, чем у других пульсаров, что естественно объясняется его «молодостью». Но, пожалуй, его самым замечательным свойством является то, что он наряду с радиоимпульсами посылает к нам оптические и рентгеновские импульсы. На рис. X в центральной части Крабовидной туманнности видна слабая звездочка 16 величины. Это и есть пульсар, который излучает в оптических лучах короткими импульсами

с периодом в 1/30 *сек.* Выяснилось это в начале 1969 г. сразу же после открытия пульсара в Крабовидной туманности. Уже давно астрономы подозревали, что эта слабая звездочка должна быть както связана со «звездным» остатком вспышки Сверхновой 1054 г., приведшей к образованию Крабовидной туманности. Когда был открыт «радио-пульсар», возникла смелая идея: а не является ли объект, который на протяжении почти 100 лет всеми считался обыкновенной звездочкой, совсем не тем, за кого его принимали? Проверка этого предположения была сделана с большим остроумием и предельной наглядностью. В телескоп был вставлен вращающийся

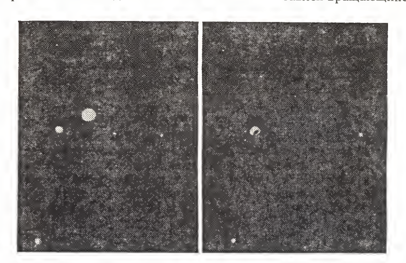


Рис. 12. Фотография пульсара NP 0532, *полученная с помощью стробоскопа.*

непрозрачный диск, на периферии которого было просверлено восемь отверстий, причем расстояние между отверстиями равнялось их диаметрам. Если представить себе, что во время экспозиции какой-нибудь звезды диск вращается, то для получения негатива такой же плотности, что и без диска, нужно экспозицию примерно удвоить. Теперь представьте себе, что фотографируется не обыкновенная звезда, а импульсный источник света, причем импульсы периодически повторяются. Тогда, если период вращения диска равен периоду повторяемости световых импульсов от источника, можно, меняя фазу вращения диска, в одном случае добиться полного «погашения» источника, а в другом — полностью без потерь на поглощение в диске, использовать излучение источника. Такое устройство сходно с детской игрушкой, называемой «стробоскоп».

Вблизи центральной звездочки в Крабовидной туманности находится другая, вполне заурядная, ничего общего с туманностью не имеющая и случайно на нее проектирующаяся. На рис. 12 при-

ведены фотографии центральной части Крабовидной туманности, снятые через описанный выше вращающийся диск. Диск вращается со скоростью 30 оборотов в секунду (что соответствует периоду пульсара NP 0532), но с разными фазами. Снимок этот поразителен в своей наглядности: в одном случае яркость центральной звездочки гораздо больше, чем у «соседки» (нормальной звезды!), а во втором — центральная звезда совсем не видна. Заметим, что на обоих снимках нормальная звезда выглядит одинаково. Эти снимки с полной очевидностью демонстрируют, что давно известная центральная «звезда» Крабовидной туманности — это пульсар. На рис. 13 приведена «кривая блеска» этого пульсара, полученная обычным фотоэлектрическим методом.

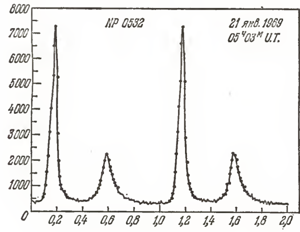


Рис. 13. «Кривая блеска» пульсара NP 0532.

Оптическое излучение пульсара NP 0532 ни в коем случае не является тепловым — в противном случае он никогда бы не наблюдался. Автор этой книги показал, что это излучение является синхротронным, т. е. обусловлено релятивистскими электронами, движущимися в магнитном поле. Излучает, конечно, не поверхность нейтронной звезды, а ее «атмосфера», вернее — «магнитосфера», размеры которой в сотню раз больше размеров нейтронной звезды.

Таким образом, в пульсарах имеет место ускорение заряженных частиц до огромных энергий. Похоже на то, что эти частицы попадают из магнитосферы пульсара в Крабовидную туманность и обеспечивают свечение последней.

Можно было бы еще много говорить о замечательных свойствах пульсаров. Например, изучая поляризацию их радиоизлучения, как оказывается, можно определить напряженность межзвездного магнитного поля. Это, пожалуй, лучший из существующих методов определения этой важнейшей характеристики межзвездной среды. Сложнейшие вопросы ставят пульсары и перед теоретиками.

Так, внутренние слои пульсара должны находиться в сверхпроводящем и в сверхтекучем состоянии. Для двух самых молодых пульсаров, находящихся в оболочках сверхновых, наблюдались внезапные «сбои» в периодах, что неизбежно должно быть связано с изменением периода вращения. Эти так называемые «звездотрясения», по-видимому, связаны с какой-то перестройкой внутренней структуры пульсаров. Их природа, как и многое другое, касающееся пульсаров, пока неизвестна. Почему, например, оптические кванты излучает только самый молодой пульсар NP 0532, находящийся в «Крабе»? Похоже на то, что генерация заряженных частиц сверхвысоких энергий должна быстро затухать со временем, но почему? В гл. 8 мы немного касаемся еще одного интересного аспекта, связанного с пульсаром в Крабовидной туманности. О другом недавно появившемся методе изучения нейтронных звезд речь будет также идти в гл. 8. А теперь мы перейдем к другой, не менее волнующей проблеме.

Еще в конце тридцатых годов была доказана теорема, согласно которой давление «вырожденного» газа (а из него как раз и состоит горячее, плотное ядро звезды, в которой «выгорел» водород) не может уравновесить гравитационное притяжение наружных слоев звезды, если масса последней превышает некоторый предел. Этот предел не так уж велик и только немногим превышает 2,5 солнечной массы.

Но ведь масса первоначально образовавшейся из облака межзвездного газа протозвезды может значительно превосходить этот предел. Что же будет тогда? До последнего времени неявно принималось, что звезда в стадии красного гиганта «сбрасывает» излишек массы тем или иным способом (см. гл. 4). Но ведь это совершенно необязательно! Звезда не живое существо, и поэтому она не может точно «помнить», сколько же именно ей надо сбросить с себя вещества, чтобы не попасть в «неприятное положение»...

А положение такой звезды, выражаясь образно, мы вполне можем назвать незавидным. Так как перепад газового давления уже не может противодействовать силе притяжения, наступит катастрофа: звезда начнет с огромной скоростью сжиматься, одновременно уплотняясь. Она будет как бы раздавлена собственным весом. За каких-нибудь несколько секунд звезда может превратиться в сверхплотную «точку». Это явление, которое уже давно занимает умы теоретиков, получило название «гравитационный коллапс».

Но сожмется ли «коллапсирующая» звезда до точечных размеров? То, что будет написано ниже, неподготовленному читателю может показаться фантастикой. И тем не менее это актуальнейшая, строго научная задача современной физики и астрофизики. Итак, звезда будет быстро сжиматься, причем ее масса будет оставаться неизменной. Очевидно, что при этом так называемая «параболическая», или, как многие говорят в последние годы, «вторая космическая», скорость будет непрерывно расти по закону $V_{пар} \propto r^{-1/2}$, где r — радиус звезды. Для поверхности Солнца параболическая скорость примерно 700 *км/сек*. Если бы наше Солнце сжалось

до таких размеров, что его радиус стал равным 3 *км* (при этом его средняя плотность была бы около 10^{16} *г/см*^{3}, что в 10 раз превышает плотность атомного ядра), то параболическая скорость стала бы равной скорости света *c*. Вот тут-то и начинаются чудеса! Вступают в действие законы общей теории относительности, причем в сильнейшей степени. Прежде всего, в очень сильном гравитационном поле, как известно, течение времени замедляется. Поэтому те несколько секунд, которые требуются для катастрофического спада звезды в точку, отсчитал бы воображаемый наблюдатель, который находится на сжимающейся звезде. Между тем при подходе к упомянутому выше критическому радиусу, для которого $V_{пар} \approx c$ (этот радиус, пропорциональный массе тела, называется «шварцшильдовским»), время по часам «земного наблюдателя» будет протекать все медленнее и медленнее и, наконец, остановится, когда звезда сожмется до этого критического радиуса.

Поясним это важное обстоятельство следующим примером. Вообразим себе астронавта, который летит в глубинах Галактики на звездолете. Улетая в космос, он обязался каждую секунду посылать на Землю радиосигнал, который принимают его оставшиеся друзья. Теперь представим себе, что он подлетает к затерявшейся в просторах Галактики «спавшейся» звезде, радиус которой равен критическому шварцшильдовскому радиусу. Он уже совсем близко к этому телу, и земные наблюдатели с удивлением и страхом замечают, что радиосигналы следуют один за другим не через секунду, а реже. Вот уже между ними проходят минуты, затем часы, годы, века. Наконец, сигналы перестали поступать совсем... А между тем астронавт по с в о и м ч а с а м аккуратно, каждую секунду посылал сигналы!

Из этого примера, в частности, следует, что посторонний (например, земной) наблюдатель никогда не увидит, что сжимающееся тело достигло своего шварцшильдовского радиуса. Из такого тела вообще не могут выходить ни излучение, ни какие-либо частицы. Оно взаимодействует с окружающим миром только через гравитационное притяжение. Очень образно академик Я. Б. Зельдович называл такую «сколлапсировавшуюся» звезду «гравитационной могилой». В последние годы такие объекты получили не менее образное название — «черные дыры».

Живая наука дает, как мы видим, сюжеты для фантастических романов, с которыми не может сравняться самая пылкая фантазия романиста. Например, пресловутая «железная звезда» из «Туманности Андромеды» И. А. Ефремова выглядит весьма наивно рядом с вполне реальной звездой, оказавшейся в «гравитационной могиле».

Пока еще детальная теория гравитационного коллапса звезды не создана. Эта теория должна учитывать и такие важные факторы, как, например, вращение звезды и наличие на ней магнитного поля. Это очень трудная задача, но уже сейчас, например, ясно, что вращение звезды вокруг своей оси при некоторых условиях может

предупредить коллапс сжимающейся звезды. По причине сохранения вращательного момента экваториальная скорость будет быстро расти, а это может привести к сплющиванию сжимающейся звезды и разрыву ее (из-за действия центробежной силы) на отдельные куски до того, как она достигнет шварцшильдовского радиуса. Поэтому достигнуть критических размеров сжимающаяся звезда может только в том случае, если ее первоначальная вращательная скорость была малой.

В принципе гравитационный коллапс может произойти не только со звездой достаточно большой массы, но и с галактическими ядрами. Об этом речь будет идти в следующей главе.

Таким образом, финальная стадия эволюции звезд, которая наступает после «выгорания» в их центральных областях ядерного горючего, существенным образом зависит от их массы. Однако при этом необходимо учитывать неизбежную потерю массы в процессе эволюции, а также вращение звезд.

Если масса звезды меньше некоторого предельного значения (которое немного больше массы Солнца), конечным этапом эволюции будет образование белых карликов, превращающихся после остывания в «черные карлики». В действительности, однако, в белые карлики могут превратиться и звезды со значительной массой. Хорошим примером сказанному является знаменитый спутник Сириуса — исторически первый открытый белый карлик. Так как сам Сириус представляет собой довольно массивную звезду спектрального класса A, то его спутник, который успел сильно проэволюционировать, превратившись в белый карлик, должен был вначале обладать еще большей массой, по крайней мере в три раза превышающей массу Солнца. Ибо время пребывания на главной последовательности тем короче, чем больше масса звезды (см. табл. 1). Так как масса белого карлика — спутника Сириуса равна 0,9 солнечной, это может означать только одно: прежде чем превратиться в белый карлик, спутник Сириуса потерял по крайней мере 70% своей массы.

Если первоначальная масса звезды находилась в пределах 1,2—2,5 солнечной массы, «чистая» теория утверждает, что конечным результатом эволюции должно быть образование нейтронной звезды. И здесь, однако, как, впрочем, и всегда, реальная действительность оказалась богаче «чистой» теории. Один из двух пульсаров, отождествляемых с остатками вспышек сверхновых, несомненно образовался после вспышки сверхновой II типа. Это видно по туманности, с которой он отождествляется. Но звезды, вспыхивающие как сверхновые II типа, имеют массу, значительно превышающую 2,5 солнечной! Как же быть? Похоже на то, что здесь решающую роль играет быстрое вращение вспыхнувшей звезды. По этой причине при катастрофическом сжатии только самые внутренние области звезды, линейная скорость вращения которых незначительна, превратились в нейтронную звезду, между тем как основная масса в конце концов была выброшена в межзвездное пространство.

Ну, а как быть с финальной стадией эволюции массивных звезд? Могут ли они действительно превратиться в «черные дыры»? Так ли уж обязательно образование нейтронных звезд после взрывов? Ведь при гравитационном коллапсе выделяется огромная энергия, которая вполне может быть израсходована на выбрасывание вещества с большой скоростью и на его нагрев? Другими словами, могут ли в результате вспышки сверхновых в некоторых случаях образовываться «черные дыры»? Общее количество пульсаров в нашей Галактике таково, что позволяет сделать вывод, что почти все вспышки сверхновых приводят к образованию нейтронных звезд. Тогда возникает вопрос: а как все-таки быть с «черными дырами»? Где их искать? Белые карлики были обнаружены астрономами свыше полувека тому назад. Нейтронные звезды (пульсары) были обнаружены немногим более пяти лет тому назад. На очереди — последняя и, может быть, важнейшая проблема заключительной стадии звездной эволюции — обнаружение «черных дыр». Похоже на то, что «черные дыры» (по крайней мере, одна) уже обнаружены (см. дальше, гл. 8).

Мы теперь перейдем к совершенно другому вопросу: может ли наше Солнце вспыхнуть как сверхновая звезда? Разумеется, для проблемы дальнейшего развития жизни на Земле этот вопрос имеет очень серьезное значение: ведь такая вспышка испарит все планеты, может быть, за исключением Юпитера и Сатурна. Как же отвечает на этот вопрос современная астрофизика? Прежде всего, Солнце не может вспыхнуть как сверхновая II типа: для этого у нее слишком мала масса. Речь может идти только о вспышке Солнца как сверхновой I типа. Скорее всего, и эта участь не грозит Солнцу. Предварительные расчеты показывают, что и для такого взрыва масса Солнца недостаточна.

Вспышки сверхновых — довольно редкое явление. Но Галактика существует так долго, что за время ее эволюции подобных вспышек было достаточно много. Возникает интересный вопрос: были ли в течение геологической истории Земли такие эпохи, когда сверхновая вспыхивала сравнительно близко, например на расстоянии ближайших к нам звезд? Другими словами, какова вероятность того, что одна из ближайших к Солнцу звезд вспыхнет как сверхновая? Чтобы ответить на этот вопрос, мы сейчас проделаем несложный расчет.

Примем, что одна сверхновая II типа вспыхивает где-нибудь в Галактике один раз в 100 лет. Как уже говорилось, сверхновые этого типа вспыхивают в довольно тонком слое около галактической плоскости. Толщина такого слоя не превышает сотни парсек. С другой стороны, галактическая орбита Солнца целиком находится (и в прошлом находилась) в пределах этого слоя. Введем в рассмотрение сферическую область радиуса R, окружающую Солнце. Отношение объема этой области к объему всего галактического пространства, где вспыхивают сверхновые II типа, составит

$$\frac{4\pi}{3} R^3 : \pi r^2 d,$$

где r — радиус галактического диска, в пределах которого происходят вспышки, d — его толщина. Это отношение объемов представляет собой вероятность того, что при случайной вспышке одной сверхновой Солнце окажется от нее на расстоянии, меньшем R, причем R должно быть меньше d.

Если одна вспышка сверхновой происходит в среднем за T лет, то следует ожидать «близкую» вспышку один раз в течение промежутка времени

$$t_1 = \frac{3r^2 d}{4R^3} T.$$

Полагая $r=10$ тыс. *пс*, $d=100$ *пс*, $R=10$ *пс* и $T=100$ лет, найдем, что $t_1=750$ млн. лет. Время t_1 может быть и в несколько раз меньше, если учесть, что значительная часть галактической орбиты Солнца находится в пределах спиральных ветвей, где преимущественно вспыхивают сверхновые II типа. Проделанный только что расчет показывает, что за всю историю Земли, насчитывающую около 5 млрд. лет, Солнце несколько раз находилось ближе, чем на расстоянии 10 *пс*, от вспыхнувшей сверхновой. Что же при этом произойдет? Если бы в такие эпохи на Земле жили разумные существа, они прежде всего увидели бы на небе необыкновенно яркую звезду. Поток излучения от нее был бы в миллионы раз больше, чем от Сириуса — самой яркой из звезд. Все же он был бы в 10 тыс. раз меньше, чем поток излучения от Солнца. Тем не менее освещенность, созданная такой звездой ночью, была бы в сотню раз больше, чем от полной Луны, и эта звезда ярко освещала бы ночной ландшафт нашей планеты.

Следует, однако, заметить, что поток излучения от вспыхнувшей звезды в ультрафиолетовой области спектра в десятки раз превосходил бы солнечный. Это вызвало бы значительную ионизацию верхних слоев земной атмосферы, однако не привело бы к катострофическим последствиям. Дело в том, что вся ультрафиолетовая радиация сверхновой была бы полностью поглощена земной атмосферой и до поверхности Земли не дошла бы. Такая необыкновенной яркости звезда горела бы на небе несколько месяцев, постепенно угасая. Вокруг звезды образовалась бы туманность, которая, расширяясь, со скоростью несколько тысяч километров в 1 сек., захватила бы через несколько сот лет значительную часть неба. Ночное небо светилось бы в линиях спектра, характерных для таких туманностей. Впрочем, это свечение было бы довольно слабым, едва видимым невооруженным глазом. Через тысячелетия скорость расширения туманности значительно замедлилась бы из-за постепенного торможения ее межзвездной средой. Солнечной системы расширяющаяся туманность достигла бы примерно через 10 тыс. лет. После этого в течение нескольких десятков тысяч лет Солнце и окружающие его планеты находились бы внутри туманности — остатка вспышки сверхновой. Одна из таких туманностей в созвездии Близнецов показана на рис. XI.

Какие можно ожидать эффекты при «погружении» Солнечной системы на столь длительное время в «радиотуманность» — остаток вспышки сверхновой? Прежде всего, плотность первичных космических лучей в окрестностях Земли увеличится во много десятков раз, так как «радиотуманности» «начинены» сверхэнергичными частицами. Так как космические лучи в пределах радиотуманности распределены довольно неравномерно, то в отдельные периоды, длящиеся столетия, плотность космических лучей в сотни раз будет превосходить современную.

К каким же последствиям может привести существенное увеличение плотности первичных космических лучей, длящееся десятки тысяч лет? Безусловно, такое изменение окружающих земной шар условий должно иметь серьезные биологические (точнее, генетические) последствия для ряда видов животных и растений, населяющих нашу планету. Как известно, эволюция видов регулируется естественным отбором под влиянием различных физических условий окружающей среды. Однако до сих пор при анализе такой эволюции совершенно не учитывались возможные изменения со временем уровня жесткой радиации. Между тем естественный уровень радиоактивности в приземном слое воздуха и в воде является одной из причин так называемых «спонтанных мутаций» — внезапных, скачкообразных изменений различных биологических характеристик данного вида, передающихся затем по наследству. Увеличение частоты таких мутаций хотя бы в два раза может повлечь за собой для некоторых видов животных и растений серьезные генетические последствия. Из радиационной биологии известно, что частота мутаций растет при облучении животных и растений жесткой радиацией. Однако различные виды по-разному реагируют на такое облучение. Так, например, для видов с коротким временем цикла размножения в ряде случаев для возрастания частоты мутации вдвое требуется увеличение дозы облучения в сотни и даже тысячи раз. Однако для долгоживущих форм удвоение частоты мутаций требует увеличения дозы лишь в 3—10 раз.

Согласно существующим данным, средняя для Земли радиоактивность воздуха в приземном слое составляет 0,12 *р* (рентген) в год. На две трети эта радиоактивность обусловлена «земными» факторами, прежде всего радиоактивностью земной коры. Однако 0,04 *р* в год дают космические лучи.

Отсюда следует, что если, например, интенсивность космических лучей повысится раз в 30, то средний уровень ионизации в приземном слое увеличится приблизительно в 10 раз. А это уже может иметь серьезные генетические последствия для различных долгоживущих видов. Особенно уязвимы высокоорганизованные, сильно специализировавшиеся виды животных со сравнительно незначительным количеством особей. Для таких видов длительное, продолжающееся десятки тысяч лет повышение уровня ионизации в окружающей среде в десятки раз может повлечь за собой катастрофические последствия.

В 1957 г. автором совместно с В. И. Красовским была высказана гипотеза, объясняющая хорошо известное вымирание рептилий в конце мелового периода стойким увеличением уровня космических лучей в десятки, а может быть, и сотни раз. Это могло произойти, если «рядом» на расстоянии 5—10 *пс* от Солнца, какая-либо из звезд вспыхнула как сверхновая. Проверкой этой гипотезы было бы палеонтологическое доказательство того, что рептилии вымерли на Земле повсеместно за время, не превышающее несколько десятков тысяч лет. Пока, насколько это известно автору, не существует надежных данных о длительности процесса повсеместного вымирания рептилий, в частности, динозавров. Хорошо, если бы специалисты-палеонтологи серьезно заинтересовались этим вопросом.

Не для всех видов живых существ длительное увеличение уровня жесткой радиации должно быть губительным. Вполне могло случиться, что такое облучение для ряда видов оказалось бы фактором, благоприятствующим эволюции. Высокий уровень радиоактивности, обусловленный попаданием солнечной системы в радиотуманность — остаток достаточно близко вспыхнувшей сверхновой, мог быть мощным фактором, стимулирующим само возникновение жизни из неживой материи. Хотя изучение вопроса о происхождении жизни на Земле в последние годы значительно продвинулось, окончательного решения этой важнейшей и вместе с тем труднейшей проблемы пока еще нет. В такой обстановке привлечение новых идей и представлений может принести только пользу.

Представляется возможным, что вызванный космическими обстоятельствами высокий уровень радиоактивности, имевшей место в эпоху, отделенную от нас несколькими миллиардами лет, мог стимулировать образование из простых органических соединений сложных комплексов, из которых могла развиться жизнь на Земле.

Таким образом, вспышки сверхновых звезд не только играют огромную роль для возникновения и эволюции жизни во Вселенной (образование тяжелых элементов, уровень жесткой радиации, обусловливающий мутации), но и могут быть первопричиной образования живой субстанции из мертвой. Приходится только удивляться, от какого сложнейшего сплетения различных независимых обстоятельств может зависеть возникновение и развитие жизни во Вселенной.

В связи с затронутым вопросом остановимся еще на одном любопытном обстоятельстве. Уже свыше 20 лет в наблюдаемой картине распределения по небу яркости космического радиоизлучения имеется одна пока необъяснимая деталь. Яркость неба в радиолучах имеет явно выраженную тенденцию концентрироваться к центральной линии Млечного Пути и к галактическому ядру (в созвездии Стрельца). Однако это правило нарушает огромный, яркий (в радиолучах, разумеется) «язык», тянущийся по небу почти перпендикулярно к Млечному Пути. Он начинается в области Млечного Пути, удаленной от галактического центра приблизительно на 30°,

и простирается почти до северного галактического полюса. На рис. 14 схематически приведена карта неба, на которой нанесены кривые, соединяющие точки небосвода, где «радиояркость» одинакова.

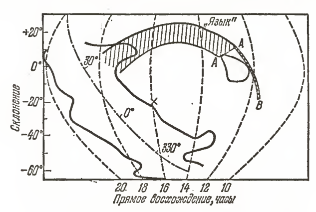


Рис. 14. Изофоты радиоизлучения Галактики (схема).

Такие кривые (называемые «изофотами») дают наглядное представление о распределении яркости радиоизлучения по небу. На рисунке отчетливо видна концентрация яркости к полосе Млечного Пути. В то же время видно, что левее галактического центра изофоты радиоизлучения круто поднимаются вверх. Это и есть описанный «язык».

Среди гипотез, которыми в разное время пытались объяснить природу этой аномалии в распределении яркости радиоизлучения,

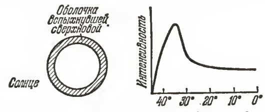


Рис. 15. Схема, поясняющая вспышку сверхновой звезды около Солнца. Справа дано распределение радиояркости оболочки в зависимости от углового расстояния до ее центра.

особого внимания заслуживает гипотеза видного английского радиоастронома Брауна. Согласно этой гипотезе, «язык» — это радиоизлучающая оболочка сверхновой, вспыхнувшей очень близко от нас несколько десятков тысяч лет назад. Так как эта оболочка удалена на расстояние всего лишь 30—40 *пс*, то при ее линейных размерах 30—40 *пс* она должна занимать огромную часть небосклона. Сказанное поясняет схема, приведенная на рис. 15. Эта гипотеза сталкивается с трудностью: никаких следов

оптически наблюдаемой туманности, которой должна быть расширяющаяся оболочка сверхновой, в этой части неба нет. Кроме того, недавно в южной части неба как будто бы была обнаружена деталь радиоизлучения Галактики, весьма напоминающая «язык». Присутствие в близких окрестностях Солнца д в у х остатков вспышек сверхновых, вспыхнувших за последние несколько десятков тысяч лет, представляется весьма маловероятным. Если, несмотря на все указанные выше трудности, дальнейшие исследования подтвердят гипотезу Брауна, то через несколько тысяч лет плотность космических лучей в пределах Солнечной системы увеличится раз в 10. Может быть, даже и нынешняя плотность космических лучей у Земли является аномально высокой, нетипичной для «средних» периодов эволюции жизни на Земле...

Можно надеяться, что в ближайшем будущем эта увлекательная загадка космической физики будет решена методами рентгеновской, радио- и оптической астрономии *).

---

*) Недавно было показано, что в области «языка» наблюдается мягкое рентгеновское излучение повышенной интенсивности. Так как такое излучение характерно для старых оболочек сверхновых звезд, то гипотеза Брауна тем самым получила серьезное обоснование.

6

Об эволюции галактик

В гл. 4 рассматривался вопрос об эволюции звезд. Там было рассказано, в частности, что красные гиганты «сбрасывают» свои наружные оболочки, постепенно рассеивающиеся в межзвездном пространстве. Остается очень плотная горячая звезда, которая, остывая, становится сначала белым, а в конце концов — «черным» карликом. Все же в процессе эволюции звезда «возвращает» в межзвездное пространство значительную часть своей массы. Из этого газа будут образовываться более молодые звезды, которые в свою очередь также будут эволюционировать описанным образом. Следует еще раз подчеркнуть, что за время существования Галактики только сравнительно массивные звезды успели пройти весь свой эволюционный путь.

При кругообороте вещества в Галактике (по схеме «межзвездный газ → звезды → звезды+межзвездный газ») значительная часть его остается в звездном состоянии в недрах «мертвых» белых карликов, нейтронных звезд и, возможно, «черных дыр». Кроме того, из-за ограниченности возраста Галактики звезды, образовавшиеся даже в самую раннюю эпоху ее существования и имеющие массу меньше 1,2 солнечной, еще не успели «сойти» с главной последовательности. Следовательно, они даже «частично» не успели вернуть в мезжзвездное пространство затраченное на их образование вещество. Из сказанного следует, что количество межзвездной среды в Галактике должно по мере ее развития у б ы в а т ь. Это важный вывод о направлении развития нашей Галактики. Та же тенденция в развитии должна быть и у остальных звездных систем.

В процессе кругооборота межзвездного газа непрерывно меняется его химический состав — он «обогащается» гелием и тяжелыми элементами. Прежде чем вернуться в межзвездную среду, газ длительное время находился в недрах звезд при достаточно высоких температуре и давлении. В нем происходили термоядерные реакции— водородные и гелиевые. По этой причине химический состав его медленно менялся: водород постепенно «выгорал», количество гелия

росло, возрастало также количество тяжелых элементов. Последние будут образовываться из-за реакции

$$3He^4 \rightarrow C^{12}, \; C^{12} + He^4 \rightarrow O^{16}$$

и дальнейших реакций C^{12} и O^{16} с протонами и нейтронами. При таких реакциях будут преимущественно образовываться изотопы C^{13} и O^{17}.

Однако необходимо подчеркнуть, что самые тяжелые элементы этим способом «постепенного наращивания» образоваться не могут. Дело в том, что по мере такого «роста» ядер путем присоединения к ним новых нуклонов они с неизбежностью должны стать неустойчивыми ядрами радиоактивных изотопов некоторых элементов. Эти ядра распадутся до того, как к ним будет присоединен очередной нуклон. Тем самым дальнейший процесс «утяжеления» ядра путем последовательного присоединения нуклонов будет остановлен.

Где же могут образовываться сверхтяжелые элементы? По современным представлениям «тиглем», в котором «варятся» эти элементы, могут быть вспышки сверхновых. По-видимому, при взрыве такой звезды происходят цепные реакции, сопровождающиеся образованием весьма большого количества нейтронов. Не исключено, что столь большое количество нейтронов обеспечит последующий захват ядрами двух и более нейтронов, так что промежуточные ядра не успеют распасться. После того как такие ядра быстро захватят очередной нейтрон, они станут устойчивыми, и дальнейший рост их будет уже идти без помех. Так могут образовываться элементы вплоть до трансурановых.

В результате вспышек сверхновых в межзвездное пространство непрерывно поступают тяжелые и сверхтяжелые элементы, которые постепенно перемешиваются с межзвездным газом. Мы видели, что сверхновые II типа — это молодые массивные звезды. Так как скорость образования таких звезд из межзвездной среды сильно зависит от плотности последней (имеются некоторые основания полагать, что она пропорциональна кубу плотности), то мы приходим к следующему интересному выводу. Раньше, когда в Галактике содержание межзвездного газа было значительно больше, чем сейчас, и скорость процесса образования звезд из него была много выше современной, сверхновые звезды вспыхивали гораздо чаще. Специально выполненные расчеты показывают, что когда возраст Галактики был меньше 1 млрд. лет, частота вспышек сверхновых была примерно в 100 раз больше, чем сейчас.

Учитывая это обстоятельство, можно сделать вывод, что за всю историю развития Галактики в ней вспыхнуло примерно 1 млрд. сверхновых звезд. Этого количества как будто бы достаточно для объяснения наблюдаемого содержания тяжелых и сверхтяжелых элементов в межзвездном газе и образовавшихся из него в разное время звезд «второго поколения». В то же время звезды, образовавшиеся в эпоху формирования Галактики (это субкарлики и звезды, входящие в состав шаровых скоплений, массы которых меньше 1,2

солнечной), сохранили, по крайней мере в своих наружных слоях, «первоначальный» химический состав межзвездной среды, из которой они образовались. И действительно, у таких звезд «первого поколения» относительное содержание тяжелых элементов в десятки раз меньше, чем у Солнца, которое является звездой «второго поколения». Таким образом, наблюдаемые характерные различия в химическом составе звезд главной последовательности и субкарликов, о которых шла речь в гл. 2, находят естественное объяснение в рамках общей картины непрерывного обогащения вещества Галактики тяжелыми элементами.

Как же образовалась наша Галактика, а также другие звездные системы? Приблизительно 10—15 млрд. лет назад на месте нашей (равно как и других) Галактики было огромное облако весьма разреженного газа. По-видимому, его температура была не очень велика. Химический состав этого облака значительно отличался от химического состава современного межзвездного газа гораздо бо́льшим содержанием водорода. Не исключено даже, что, кроме водорода и гелия, там не было никаких других элементов. Под влиянием всемирного тяготения облако сжималось, при этом его плотность непрерывно повышалась. При повышении плотности увеличивалось число столкновений между протонами и электронами, сопровождающихся излучением. Поэтому облако остывало. Остывая, оно сжималось еще быстрее. Таким образом, процесс конденсации гигантского «первичного» облака шел во все нарастающем темпе.

Математические расчеты показывают, что при такой конденсации облако неизбежно должно было распасться на более мелкие сгустки. Впрочем, понятие «мелкие» в данном случае не совсем подходит, так как из каждого такого сгустка с течением времени образовалось скопление галактик. Освобождавшаяся при сжатии первичного облака потенциальная энергия превращалась в кинетическую энергию движений отдельных газовых масс. По этой причине дальнейшее сжатие сгустков привело к их распаду на еще более мелкие массы газа с довольно значительными скоростями. Эти мелкие сгустки и были самой ранней фазой развития галактик. Каждый из таких сравнительно мелких сгустков, сжимаясь под влиянием все той же силы тяготения, снова дробился на еще более мелкие сгустки. Из последних в дальнейшем образовались шаровые скопления, а затем отдельные звезды. Это были звезды первого поколения.

В те отдаленные времена относительные скорости отдельных конденсаций газа, из которых образовались шаровые скопления и звезды первого поколения, были довольно значительны, а сама «протогалактика» имела приблизительно сфероидальную форму. Отражением этого обстоятельства является наблюдаемое сейчас пространственное распределение звезд первого поколения и шаровых скоплений. Эти объекты, как известно (см. гл. 1), образуют почти сферическую систему с сильной концентрацией плотности к центру Галактики. Значительной концентрации к галактической плоскости они не обнаруживают.

Отдельные массы газа, входящие в состав протогалактики, при своем движении сталкивались между собой. При таких столкновениях газ терял кинетическую энергию (которая шла на нагрев облаков газа и потом излучалась) и постепенно оседал к галактической плоскости. В результате звезды, которые образовывались в более позднее время, значительно сильнее должны были концентрироваться к галактической плоскости.

Нужно еще иметь в виду, что все образовавшиеся таким способом протогалактики находились в состоянии более или менее быстрого вращения. Именно вращение препятствовало концентрации всего газа сжимающейся протогалактики к ее центру. Вместе с тем вращение определяет галактическую плоскость (ось вращения Галактики перпендикулярна к этой плоскости).

Спустя несколько сот миллионов лет после того, как в протогалактике стали образовываться первые шаровые скопления, почти весь газ «осел» к галактической плоскости в виде сравнительно тонкого диска. Весь дальнейший процесс образования и эволюции звезд происходил (и происходит) в этом диске. С течением времени плотность межзвездного газа в диске выравнивалась, так как там, где плотность его была первоначально выше, процесс звездообразования шел более интенсивно.

Возникает один интересный вопрос: почему газ в диске не осел под влиянием силы тяготения в еще более тонкий слой около галактической плоскости? В таком случае его плотность была бы велика; он быстро сконденсировался бы в звезды, и в результате к настоящему времени мы в нашей Галактике межзвездный газ почти не наблюдали бы. Ответ на этот вопрос состоит в следующем. Межзвездный газ в диске распределен не равномерно, а сосредоточен преимущественно в ветвях спиралей. Последние, по-видимому, представляют собой магнитные силовые трубки (см. гл. 3). Оказывается, что упругость магнитного поля препятствует неограниченному уплотнению межзвездного газа под действием тяготения. Вообще следует заметить, что роль межзвездных магнитных полей в эволюции галактик весьма существенна. Однако по-настоящему это начинают исследовать только сейчас.

Прежде всего возникает вопрос о происхождении межзвездного магнитного поля в звездных системах, в частности в нашей Галактике. До сравнительно недавнего времени общепринятой была гипотеза известных немецких ученых Гейзенберга и Вайцзекера, согласно которой магнитное поле в каждой звездной системе образуется как бы «автономно». Можно указать на несколько факторов, под воздействием которых в какой-либо галактике может образоваться чрезвычайно слабое магнитное поле. В дальнейшем это поле, благодаря хаотическим движениям облаков межзвездного газа (к которым магнитные силовые линии как бы «приклеены»), будет запутываться и усиливаться. Таким способом могут образоваться конденсации межзвездного газа и магнитных полей, которые в дальнейшем, вследствие «нетвердотельного» вращения галактики, будут вытягиваться в спи-

ральные ветви. Однако впоследствии стало ясно, что эта гипотеза не в состоянии объяснить наблюдаемое многообразие типов спиральных галактик. Несколько лет назад советский астрофизик и радиоастроном Н. С. Кардашев выдвинул и обосновал совершенно новую точку зрения на природу галактических межзвездных магнитных полей. Согласно гипотезе Кардашева, магнитное поле какой-нибудь звездной системы (в частности, нашей Галактики) имеет «метагалактическое» происхождение. При описанной в начале этой главы конденсации межгалактического газа метагалактическое магнитное поле сжимается, усиливается, а потом закручивается вращением галактики. Австралийский теоретик Пиддингтон, развивая идею Кардашева, указал, что величина образовавшегося таким образом галактического магнитного поля зависит от угла между направлением метагалактического поля и осью вращения Галактики. Если этот угол, например, мал, галактическое магнитное поле будет сравнительно невелико.

Известный советский астрофизик С. Б. Пикельнер на основе этих представлений разработал стройную теорию, объясняющую многообразие форм галактик, в частности их спиральную структуру, следующим образом. Конденсация газа в центральной части галактики сжимает первоначальное метагалактическое поле в силовую трубку некоторой длины. На концах трубки силовые магнитные линии будут сильно расходиться. Поэтому возникает упругая сила, которая начнет сближать силовые линии. Это вызовет усиление конденсации газа вдоль оси трубки. Таким образом, в Галактике начнет распространяться в направлении первоначального метагалактического магнитного поля своеобразная «магнитно-гравитационная» волна, которая приведет к образованию сравнительно плотного намагниченного газового цилиндра. Последний, благодаря вращению галактики, будет закручиваться в спираль.

Таковы в общих чертах основные закономерности эволюции нашей звездной системы. Другие галактики эволюционировали, подчиняясь тем же общим законам природы. Следует, однако, заметить, что среди галактик наблюдается очень большое разнообразие. В гл. 1 мы говорили о различных типах галактик. Чем же объяснить такие сильные различия между звездными системами?
7 По-видимому, весь характер дальнейшей эволюции определяется первоначальной массой и скоростью вращения газового сгустка—протогалактики, а также углом между направлением метагалактического магнитного поля и осью галактики. Так, например, если первоначальная масса протогалактики сравнительно невелика, средняя плотность газа в ней также незначительна. При таких условиях скорость образования звезд будет небольшой. Процесс образования звезд первого поколения затянется на несколько миллиардов лет. Такими галактиками, например, являются Магеллановы Облака. У этих галактик даже горячие, массивные, заведомо молодые звезды должны иметь малое содержание тяжелых элементов. И действи-

тельно, спектроскопические наблюдения полностью подтверждают этот вывод.

Если первоначальная масса протогалактики велика, а скорость ее вращения незначительна, процесс звездообразования будет очень бурным. Межзвездный газ довольно быстро сконденсируется в звезды, и его почти не останется. Дольше всего звездообразование будет происходить в центральных областях такой галактики, куда падает межзвездный газ с ее «периферии». Наконец, этот процесс прекратится и там. В итоге такой эволюции образуется эллиптическая галактика с очень малым содержанием межзвездного газа. Если же протогалактика обладала достаточно большой массой и быстро вращалась, ее эволюция протекала так же, как у нашей Галактики. В этом случае образуются спиральные звездные системы.

Описанная схема эволюции звездных систем по мере дальнейшего развития астрономии будет уточняться и все более и более конкретизироваться. Многие вопросы, сюда относящиеся, еще далеко не ясны и ожидают своего решения. И прежде всего — это проблема галактических ядер. До сравнительно недавнего времени на эти самые центральные области спиральных и эллиптических звездных систем-галактик не обращалось должного внимания. Астрономы предполагали, что это — просто небольшие области с весьма высокой плотностью звезд. Пожалуй, первый, кто обратил внимание на нетривиальные, качественно своеобразные свойства галактических ядер, был академик В. А. Амбарцумян. В последние годы накопился огромный наблюдательный материал, касающийся галактических ядер, который действительно показывает, что они играют огромную роль в эволюции галактик. Самым удивительным результатом этих наблюдений, которые проводились во всем диапазоне шкалы электромагнитных волн — от радио до рентгеновских, явилось открытие а к т и в н о с т и ядер. Это открытие (как и всякое открытие) было неожиданным. Предполагалось всегда, что галактические ядра — это просто скопления сотен миллионов звезд, погруженных в межзвездную среду. При такой картине, конечно, не приходится ожидать, что мощность излучения ядра на какой-либо волне может заметно измениться за сколь угодно длинный промежуток времени наблюдений (например, сотню лет). Меняться может излучение какой-либо одной звезды, но усредненная по гигантскому количеству звезд мощность излучения должна, казалось бы, оставаться постоянной. И вот оказывается, что как оптическое, так и особенно радиоизлучение некоторых галактических ядер может заметно измениться за несколько месяцев и даже недель! Это означает, что в течение сравнительно короткого промежутка времени по каким-то причинам освобождается гигантское количество энергии, в сотни раз превышающее то, которое освобождается при вспышках сверхновых. Такие ядра получили название «активных», а совокупность процессов, по-видимому, взрывного характера, приводящая к освобождению столь огромного количества энергии, получила несколько неопределенное название «активность» ядер. По существу, природа актив-

ности ядер галактик еще не понята, хотя отдельные стороны этого грандиозного явления сейчас уже можно осмыслить. Следует подчеркнуть, что активность наблюдается только у весьма незначительной части ядер галактик. Подавляющее большинство их (в частности, ядро нашей Галактики) излучают строго постоянно и вполне заслужили название «спокойных». Наблюдения говорят, однако, о том, что это «спокойствие» не продолжается вечно. Вулканы на Земле в промежутки времени между извержениями тоже можно считать спокойными... Точно так же и галактические ядра после длительного периода «спокойствия» (исчисляемого, может быть, промежутками времени в десятки миллионов лет) испытывают сравнительно кратковременные, длительностью в тысячи и десятки тысяч лет, периоды активности. Таким образом, явление активности ядер носит «повторяющийся» характер. Однако следы кратких, но бурных периодов активности галактических ядер можно наблюдать длительное время после того, как активная «вспышка» закончилась.

Особенно впечатляюще активность ядер проявляет себя в радиодиапазоне. Еще в 1946 г. на заре радиоастрономии была открыта первая галактика, являющаяся исключительно мощным источником радиоизлучения. Это — знаменитый объект Лебедь А. В настоящее время число известных, занесенных в каталог радиоисточников, находящихся в Метагалактике, превосходит уже 10000. Все они являются галактиками, по каким-то причинам сильно излучающими в радиодиапазоне. Такие объекты получили название «радиогалактик». Наша Галактика также излучает радиоволны, но мощность этого излучения («радиосветимость») у нее в десятки и сотни тысяч раз меньше, чем у радиогалактик. Вообще следует заметить, что все галактики излучают в той или иной степени радиоволны. У радиогалактик, однако, этот процесс выражен особенно сильно.

Как надежно установлено, непосредственной причиной радиоизлучения и «нормальных» галактик (вроде нашей), и «радиогалактик» является наличие там огромного количества космических лучей, которые движутся в более или менее сильных межзвездных магнитных полях. Центральным вопросом является происхождение этих космических лучей. Если в нашей Галактике они образуются при «расплывании» в межзвездной среде туманностей — остатков вспышек сверхновых (которые, как мы видели в предыдущей главе, «начинены» космическими лучами), то в случае радиогалактик дело обстоит иначе. Сверхновых звезд там явно не хватает для того, чтобы образовать очень уж большое количество космических лучей. Последние образуются при гораздо более мощных процессах взрывного характера, происходящих в ядрах в периоды их высокой активности. Обычно релятивистские частицы выбрасываются из ядер в виде двух огромных облаков, разлетающихся в разные стороны и сравнительно быстро (за «какие-нибудь» сотни тысяч лет) покидающих пределы галактики (см. рис. 19 в следующей главе). В конце концов они рассеиваются в межгалактическом пространстве. Наблюдаются случаи, когда около галактики видны два «старых»,

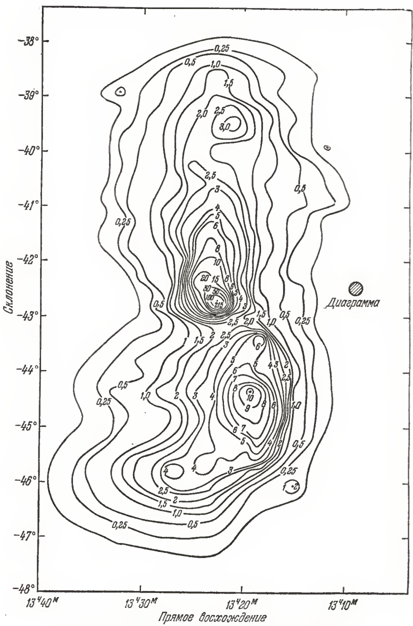


Рис. 16. «*Радиоизображение*» *галактики* NGC 5128.

весьма протяженных, почти расплывшихся облака и одновременно по обе стороны ядра два небольших, очень ярких, «молодых» облака (рис. 16). Это наглядно демонстрирует «циклический» характер активности ядер.

Существует класс галактик, который в последние годы привлекает к себе особое внимание астрономов. Речь идет о так называемых «сейфертовских галактиках». Последние представляют собой более или менее нормальные спирали, но только с очень яркими и весьма активными ядрами. Спектры последних указывают на наличие там в сравнительно малой пространственной области довольно плотных облаков горячего газа, беспорядочно движущихся с огромными скоростями в несколько тысяч *км/сек*. Это свидетельствует о мощном выбрасывании газовых струй из ядер таких галактик. Излучение с непрерывным спектром часто бывает переменным и имеет ту же природу, что оптическое излучение Крабовидной туманности (см. предыдущую главу). Это означает, что там идет мощная генерация космических лучей.

Примерно 1% всех спиральных галактик является сейфертовским. Все говорит о том, что сейфертовские галактики — это более или менее часто повторяющийся этап в развитии нормальных спиральных галактик. Мы можем еще сказать, что это нормальные галактики, у которых ядра находятся в активном состоянии.

Вполне возможно и даже весьма вероятно, что много миллионов лет тому назад ядро нашей Галактики было «сейфертовским», т. е. активным. Так как Солнце и вся наша планетная система находятся очень близко от галактической плоскости, где много космической пыли, мы не можем методами оптической астрономии наблюдать ядро нашей Галактики. Однако в радио- и инфракрасных лучах это оказывается возможным. На рис. 17 приведено «радиоизображение» области галактического центра. Компактный источник размерами в 10 секунд дуги в центре рис. 17 и есть ядро нашей Галактики. Так как оно находится от нас на расстоянии около 30 000 световых лет, его линейные размеры оказываются меньше одного *пс*. Недавние наблюдения показали, что в центре ядра имеется еще меньшее образование, размеры которого меньше нескольких тысячных парсека. По всем признакам в настоящее время ядро нашей Галактики «спокойно», хотя следы его довольно высокой активности в прошлом можно и сейчас наблюдать в виде газовых струй, поднимающихся над плоскостью Галактики на расстояние в несколько сотен парсек.

Интересно, что галактическое ядро также является источником инфракрасного излучения. Угловые размеры этого источника 10 секунд дуги, т. е. такие же, как и у совпадающего с ним радиоисточника. Из-за огромной величины поглощения света межзвездной пылью оптическое излучение ядра нашей Галактики наблюдать нельзя. Тем не менее, из анализа инфракрасного излучения ядра можно сделать вывод, что там, в области поперечником всего лишь в 1 парсек, находится несколько миллионов звезд. Это означает, что

звездная плотность ядра нашей Галактики в десятки миллионов раз больше, чем в «галактических» окрестностях Солнца!

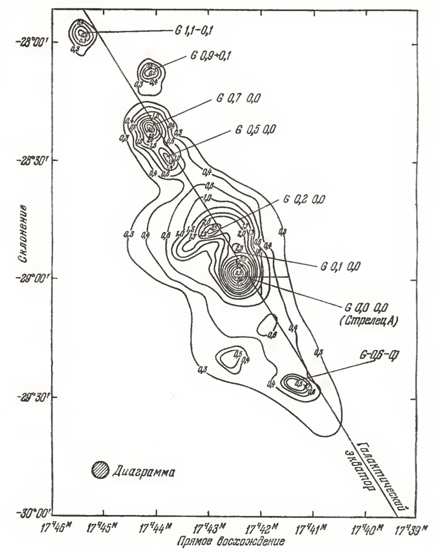


Рис. 17. «Радиоизображение» области галактического центра.

В центре туманности Андромеды в оптических лучах наблюдается звездообразный объект с угловыми размерами $1'' \times 1'',5$. Его видимая звездная величина около 12^m. Так как расстояние до этой гигантской звездной системы около 700 000 парсек, то линейные размеры ее ядра 3×5 парсек, а светимость соответствует нескольким

десяткам миллионов Солнц. Заметим, что оптические наблюдения ядра туманности Андромеды возможны потому, что ее экваториальная плоскость наклонена к лучу зрения под большим углом, так что протяженность поглощающего свет слоя межзвездной пыли сравнительно невелика. Между тем из-за того, что Солнце находится очень близко от галактической плоскости, к которой концентрируется межзвездная пыль, излучение от центра нашей Галактики проходит через огромную толщу поглощающего свет вещества.

В 1963 г. были обнаружены метагалактические (т. е. расположенные за пределами нашей Галактики) объекты нового типа. Это открытие было сделано голландским астрономом Маартеном Шмидтом, работающим в Калифорнии. Эти объекты имеют звездообразный вид, и некоторые из них еще раньше были отождествлены с радиоисточниками весьма малых угловых размеров. Спектр этих «квазизвездных объектов», или, как их сейчас повсеместно называют, «квазаров» состоит из ярких линий излучения на «непрерывном» фоне. Совершенно неожиданно Шмидт отождествил их с обычными линиями водорода, кислорода и магния, но только сильно смещенными по спектру в красную сторону. Если через $\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0$ обозначить разность наблюдаемой длины волны и измеренной в лаборатории или в «близких» туманностях, то величина $z=\frac{\lambda-\lambda_0}{\lambda_0}$ характеризует красное смещение спектральных линий. Она одинакова для всех линий данного источника. Для первого из исследованных Шмидтом квазаров $z=0{,}36$. В дальнейшем было открыто много (свыше 150) подобных объектов, причем наибольшее из известных красных смещений $z=2{,}9$. Эта величина фантастически велика — ничего подобного до этого астрономы не обнаружили ни у одного небесного светила! Из определения z следует, что $\frac{\lambda}{\lambda_0}=1+z$. А это означает, что в спектрах квазаров наблюдаются далекие ультрафиолетовые линии, из-за огромного красного смещения «съехавшие» в видимую часть спектра. Если бы не такое красное смещение, эти линии никогда бы не наблюдались, так как земная атмосфера полностью поглощает ультрафиолетовое излучение.

Теперь уже мало кто сомневается, что причиной красного смещения квазаров является эффект Доплера. Следовательно, все квазары удаляются от нашей Галактики с огромными скоростями, достигающими 100—200 тыс. *км/сек*, т. е. вполне сравнимыми со скоростью света! Эти огромные скорости связаны с расширением Вселенной (см. следующую главу).

Так как скорость удаления какого-нибудь объекта, обусловленная красным смещением, тем больше, чем объект более удален, то из огромной величины красных смещений квазаров следует, что они от нас неимоверно удалены, значительно дальше, чем даже самые удаленные из наблюдаемых галактик. Если при таком удалении мы все же их можем наблюдать, то это означает, что их светимости во много десятков раз превосходят светимости даже самых больших

галактик. Ведь мощные маяки видны с очень больших расстояний!

Всего удивительнее то, что яркость квазаров (в оптических лучах) меняется. Это означает, что квазары не могут быть объектами, сходными с галактиками, т. е. состоящими из сотен или тысяч миллиардов звезд. Скорее они родственны галактическим ядрам, мощность излучения которых, как мы видели, довольно быстро меняется. Есть, однако, разница в масштабе явления: мощность излучения квазаров превосходит мощность излучения сейфертовских ядер в десятки тысяч раз! Из того факта, что за какую-нибудь неделю квазар заметно меняет свой блеск (за счет непрерывного спектра, так как интенсивность его линий излучения остается неизменной), следует простой, но очень важный вывод, что линейные размеры его излучающей области не превосходят нескольких световых недель, т. е. близки к сотой доле парсека, между тем как размеры галактик исчисляются многими тысячами парсек. И такой ничтожный по астрономическим масштабам объем излучает энергию в сотни раз больше, чем какая-нибудь гигантская звездная система типа нашей Галактики! Это указывает на грандиозность тех физических процессов, которые там происходят.

Сейчас в общем ясно, что имеется непрерывная последовательность компактных объектов, идущая от ядер нормальных галактик, через ядра сейфертовских галактик, радиогалактик к квазарам, где действуют какие-то сходные, а скорее всего — одинаковые физические процессы, отличающиеся лишь масштабом энерговыделения. Кстати заметим, что, отвлекаясь от красного смещения, спектры квазаров удивительно похожи на спектры сейфертовских ядер. И там, и тут мы имеем дело с быстрыми движениями облаков горячего газа. Однако в квазарах масса этого газа достигает миллионов солнечных масс, что в тысячи раз больше, чем у сейфертовских ядер. Имеются и другие общие черты. Как некоторые квазары, так и некоторые сейфертовские ядра характеризуются меняющимся со временем довольно мощным радиоизлучением *). Из характера изменений со временем на разных частотах радиодиапазона можно сделать вывод, что в обоих случаях наблюдаются выбрасывания облаков космических лучей, которые довольно быстро расширяются.

Другой характерной особенностью многих квазаров и сейфертовских ядер является недавно обнаруженное очень сильное излучение в далеком инфракрасном диапазоне волн с длиной 10—100 *мк*. Мощность этого излучения поражает воображение: например, у близкого к нам квазара 3С 273 (того самого, спектр которого впервые был отождествлен; он приведен на рис. 18) мощность инфракрасного излучения в тысячи раз превышает мощность излучения всей нашей Галактики во всем диапазоне волн. По-видимому, у многих квазаров и сейфертовских ядер основная часть излучае-

*) Так же как и ядра галактик, далеко не все квазары активны, т. е. меняют свои свойства со временем.

мой ими энергии находится в этой далекой инфракрасной части спектра. Заметим, что природа этого излучения еще далеко не ясна. Как много еще работы астрономам и физикам, чтобы разобраться в основных проблемах строения Вселенной...

Итак, квазары — это что-то похожее (или даже тождественное) на «сверхмощные» галактические ядра. Хотя в настоящее время

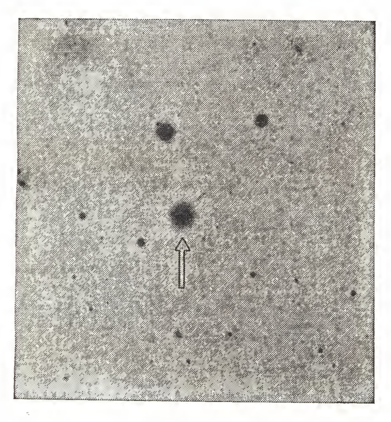


Рис. 18. Квазар 3С 273.

мы еще очень далеки от понимания их природы, кое-какие соображения по этому поводу можно уже высказать.

Прежде всего обращают на себя внимание крайне малые размеры области, где сосредоточена первопричина самого феномена ядра галактики. Так, например, у нашей Галактики размеры самого центрального источника радиоизлучения не превосходят нескольких тысячных парсека. Возможно, что эти размеры не превышают радиус орбиты Юпитера, т. е. 10^{14} *см*. Несомненно, что наблюдаемое радиоизлучение вызывается потоками электронов очень высоких энергий, движущихся в магнитном поле. Из наблюдаемой мощности

этого излучения следует, что ежесекундно в этой малой области выделяется до 10^{40} эргов энергии в форме космических лучей. Это в миллион раз больше мощности солнечного излучения! Откуда же берется эта энергия, что это за могучий ускоритель там работает?

Очень возможно, что ядро нашей Галактики — это одна «черная дыра» с огромной массой, в миллионы раз превышающей массу Солнца, либо множество менее массивных «черных дыр», движущихся в этой малой области. Заметим, кстати, что если в центре нашей Галактики находится одна «черная дыра» с массой в миллион солнечных масс, ее размеры будут больше радиуса Солнца лишь в 4 раза.

На гигантскую центральную «черную дыру» непрерывно натекает межзвездный газ. Совершенно так же, как в случае «звездной черной дыры» Скорпион Х-1 (см. гл. 8) газ образует быстро вращающийся диск и постепенно падает в «дыру», выделяя при этом огромное количество энергии.

«Черная дыра» в центре нашей Галактики — сравнительно скромное образование. У других галактик и квазаров их массы могут быть в десятки тысяч раз больше.

Наблюдаемая активность галактических ядер связана с неравномерностью выпадания на соответствующие «черные дыры» окружающего газа.

Следует подчеркнуть, что пока еще «черно-дырная» теория галактических ядер является только гипотезой, правда, весьма правдоподобной. Будем надеяться, что скоро эта важнейшая проблема астрономии будет решена.

Многое, может быть, очень важное, остается пока загадочным и непонятным. Давно уже, например, удивляет тот факт, что квазары определенно избегают скоплений галактик, между тем как по крайней мере 90% всех галактик сосредоточены в скоплениях. Имеются и другие проблемы, еще ждущие своего решения.

В заключение этой главы заметим, что для проблемы распространенности жизни во Вселенной феномен активных взрывающихся ядер представляет определенный интерес. Если такие взрывы достаточно мощны и происходят не так уж редко (скажем, раз в несколько десятков миллионов лет), вряд ли из-за высокого уровня жесткой радиации там где-нибудь может развиваться жизнь. С другой стороны, можно представить себе такую ситуацию, когда не катастрофически высокий уровень такой радиации является благоприятным фактором для возникновения и развития жизни. Для этого процесса взрывы ядер галактик могут иметь даже большее значение, чем вспышки близких сверхновых. Следует, однако, подчеркнуть, что мощность взрывов в нашей Галактике, по-видимому, всегда была незначительной, и серьезного влияния на развитие жизни в ней они не оказали.

7

Большая Вселенная

Человеческое мышление не терпит ограничений. Несомненно, у читателей возник вопрос: откуда взялось то первоначальное достаточно разреженное газовое облако, из которого в дальнейшем образовались скопления галактик и галактики? Здесь мы сталкиваемся, пожалуй, с самой грандиозной проблемой современного естествознания. Речь идет о так называемой «космологической проблеме». Космология занимается исследованием структуры и развития всей наблюдаемой нами части Вселенной. Конечна или бесконечна Вселенная, какая у нее геометрия, в чем причина разбегания галактик, вызывающего наблюдаемое красное смещение,— вот вопросы, которыми занимается космология.

Эти вопросы связаны с общей проблемой эволюции Вселенной, в частности с ее наблюдаемым расширением. Если, как это считают в настоящее время, скорость «разлета» галактик увеличивается на 50 *км/сек* на каждый миллион парсек, то экстраполяция к прошлому приводит к удивительному результату: примерно 12 млрд. лет назад вся Вселенная была сосредоточена в очень маленькой области. Многие ученые считают, что в то время плотность Вселенной была около 10^{14}—10^{15} *г/см*^{3}, т. е. такая же, как и у атомного ядра. А еще раньше, когда возраст Вселенной исчислялся ничтожными долями секунды, ее плотность была значительно выше ядерной. Проще говоря, Вселенная тогда представляла собой одну гигантскую «каплю» сверхъядерной плотности. По каким-то причинам капля пришла в неустойчивое состояние и взорвалась. Последствия этого взрыва мы и наблюдаем сейчас как разлет системы галактик.

Возникает естественный вопрос: не означает ли (в предположении, что изложенная гипотеза справедлива), что около 12 млрд. лет назад было «начало света»? Отсюда один шаг до представления, что 12 млрд. лет назад был сотворен мир... Надо сказать, что церковники широко использовали и используют описанное одно из возможных следствий наблюдаемого разлета галактик для религиозной пропаганды. На этом примере видно, как церковь пытается использовать выводы современной науки, предварительно исказив и извратив их.

Следует, однако, иметь в виду, что если вывод о том, что 12 млрд. лет назад вся Вселенная представляла собой сверхплотную ядерную каплю, является правильным (а это, по-видимому, так), всякие рассуждения о «начале» и тем более «сотворении» мира являются ненаучными. Вообще само понятие «время» при таких огромных плотностях может потерять всякий наглядный смысл. Столь же бессмысленно говорить в таких условиях о каком-то «начале времени». Здесь должны были действовать законы квантовой теории тяготения — науки, которая пока еще не создана. Излишне подчеркивать, что в условиях такой Вселенной — сверхплотной капли — никакая жизнь невозможна.

Нужно, однако, заметить следующее: нельзя заранее исключить, что наблюдаемая нами сейчас картина разлета галактик происходила с одинаковой скоростью и в сколь угодно далеком прошлом. Ведь можно считать, что в прошлом скорость разлета галактик была другой и, в частности, меньшей. Некоторые космологи полагали, что Вселенная не расширялась «от точки» с постоянной скоростью, а как бы пульсировала между конечными пределами ее средней плотности. Это означало бы, что в прошлом скорость разлета галактик была меньше, чем сейчас, а еще раньше система галактик, может быть, даже *сжималась*, т. е. галактики *приближались* друг к другу с тем большей скоростью, чем большее расстояние их разделяло. И в будущем наблюдаемая нами сейчас эпоха красного смещения постепенно может смениться эпохой фиолетового смещения.

Необходимо, однако, заметить следующее. Если бы даже гипотеза «пульсирующей Вселенной» оказалась правильной, она не стала бы альтернативой гипотезе «сверхплотной капли» как начального состояния Вселенной. Дело в том, что нельзя себе представить неограниченно большое число пульсаций между пределами средней плотности, которые ниже ядерной.

В самом деле, во Вселенной идет *необратимый* процесс — превращение водорода в гелий при термоядерных реакциях в недрах звезд. В наблюдаемой нами (довольно значительной) части Вселенной уже несколько десятков процентов атомов водорода превратились в атомы гелия. На этот процесс могло уйти самое большее несколько десятков миллиардов лет. Если бы Вселенная в том, примерно, виде, в каком мы ее наблюдаем сейчас, существовала свыше сотни миллиардов лет, она была бы «почти гелиевая». Весь водород уже давно «выгорел» бы, светимости звезд, образующих галактики, были бы малы. Но этого заведомо нет. Другими словами, наблюдаемая нами Вселенная термодинамически достаточно молода. Так как пульсации Вселенной между не слишком большими пределами плотности не могут изменить темп эволюции звезд, можно сделать вывод, что если пульсации Вселенной в прошлом и имели место, число их можно пересчитать по пальцам одной руки...

Можно себе представить (по крайней мере, математически) неограниченно большое число пульсаций, при которых, однако, в каж-

дом цикле Вселенная сжимается по крайней мере до ядерных плотностей. Ядра гелия (так же как и других элементов) при этом распадаются на нуклоны и как бы «обезличиваются». А потом все опять начинается сначала... В этой модели Вселенная вполне может быть уподоблена легендарной птице Феникс...

Вряд ли, однако, это так. Простое повторение циклов по существу исключает развитие Вселенной в целом, что философски совершенно неприемлемо. И уж если Вселенная когда-то «взрывалась» и стала расширяться — не проще ли считать, что это было один раз *)...

Развитие астрофизики, и особенно радиоастрономии, в последние годы показало полную несостоятельность концепции пульсирующей между конечными пределами плотности Вселенной (см. ниже).

По настоящему альтернативой концепции эволюционирующей от «сверхплотной капли» Вселенной является гипотеза «не меняющейся», сохраняющей свои характеристики Вселенной, которой придерживается известный английский астрофизик Хойл и некоторые другие ученые. Неизменность Вселенной (несмотря на ее расширение) в этой гипотезе досигается допущением, что имеет место непрерывное «творение» материи из... ничего. Эта странная идея физически ничем не обоснована и, по существу, противоречит теории относительности (так как она неявно предполагает существование некоторой преимущественной системы координат).

Окончательно решить вопрос — эволюционирует ли Вселенная или остается неизменной — смогли только астрономические наблюдения. Эти же наблюдения должны решить вопрос об общих свойствах Вселенной (например, вопрос об ее конечности, характере метрики и пр.).

Наиболее эффективными для решения космологической проблемы являются радиоастрономические методы исследования. Современные большие радиотелескопы позволяют изучать радиогалактики и квазары (см. гл. 1, 6), удаленные на такие огромные расстояния, при которых уже начинают сказываться релятивистские эффекты.

Вопрос о замкнутости пространства в принципе может быть решен измерением угловых расстояний между компонентами двойных радиогалактик **). До недавнего времени считалось, что расстояния между этими компонентами меняются в сравнительно небольших пределах ***) и составляют около 100 тыс. *пс*. Если бы пространство было евклидовым, то угол между компонентами неограниченно уменьшался по мере увеличения расстояния до радиогалактик.

---

*) Можно правда, полагать, что в предыдущие циклы образования галактик и звезд не происходило. Однако это предположение выглядит довольно искусственно.

**) Установлено, что двойственность весьма распространена среди радиогалактик (см., например, рис. 19).

***) Сейчас выяснилось, что расстояния между компонентами двойных радиогалактик меняются в довольно широких пределах, что осложняет задачу, но не делает ее безнадежной.

Если же пространство неевклидово (например, замкнуто), то, как оказывается, этот угол будет уменьшаться только до определенного предела (около 20″) и при дальнейшем увеличении расстояния начнет расти.

Пока таких наблюдений, которые должны быть очень многочисленны, чтобы исключить случайные эффекты, нет. Однако в перспективе ближайшего десятилетия они вполне могут быть выполнены.



Рис. 19. Радиогалактика 3C 270. *Кружками показаны области, из которых исходит радиоизлучение. Эти области не совпадают с самой галактикой, а расположены симметрично по обе стороны от нее.*

Прежде всего, радиоастрономические наблюдения позволяют уверенно исключить гипотезу «неизменной» Вселенной. Найдено, что пространственная плотность радиогалактик и квазаров, удаленных от нас на расстояние в несколько миллиардов световых лет, значительно больше, чем в сравнительной «близости» от нас *). Это означает, что в более ранние эпохи эволюции Вселенной отношение числа радиогалактик к числу всех галактик было значительно больше, чем сейчас. Причиной этого явления может быть, например, значительно большая плотность межгалактического газа. Следовательно, приток этого газа в области галактических ядер был тогда значительно более интенсивен, чем в нашу эпоху расширения Вселенной. Если взрывы в галактических ядрах, являющиеся

*) Разумеется, «близость» в этом случае следует понимать относительно: речь идет об объектах, находящихся от нас не дальше, чем, например, миллиард световых лет.

причиной образования радиогалактик (см. гл. 6), связаны с притоком межгалактического газа, то, очевидно, наблюдаемый радиоастрономами эволюционный эффект будет объяснен. Впрочем, возможны и другие объяснения. Но, так или иначе, радиоастрономические наблюдения говорят о том, что миллиарды лет тому назад Вселенная была другая, чем сейчас, т. е. она эволюционирует.

Однако самый выдающийся вклад в космологию радиоастрономия сделала в 1965 г., когда при испытании новой, весьма чувствительной приемной радиоаппаратуры в лаборатории Бэлла (США) на волне около 7 *см* был обнаружен совершенно новый тип космического радиоизлучения, интенсивность которого со всех направлений на небе была одинаковой. На более длинных волнах это излучение наблюдать затруднительно, так как оно «маскируется» более интенсивным радиоизлучением Галактики и Метагалактики. Дело в том, что, как показали дальнейшие наблюдения на других волнах сантиметрового диапазона, интенсивность этого излучения растет с ростом частоты пропорционально квадрату последней, между тем как интенсивность галактического и метагалактического синхротронного радиоизлучения довольно быстро падает с ростом частоты (рис. 20). Спектр и интенсивность вновь открытого «изотропного» радиоизлучения соответствует черному телу, нагретому до температуры около 3° Кельвина. Это излучение заполняет всю Метагалактику, так как никакой концентрации к Млечному Пути не обнаруживает (оно ведь «изотропно»!). Простой расчет показывает, что плотность энергии нового типа излучения составляет приблизительно 10^{-12} *эрг/см*^{3}. Это значительно больше плотности всех видов энергии в Метагалактике, например, энергии оптического излучения от галактик, кинетической энергии движения материи и пр. Только плотность энергии покоя, равная $\bar{\rho}c^2$, где $\bar{\rho}$ — средняя (или, как говорят, «размазанная») плотность метагалактической материи, превышает плотность энергии открытого в 1965 г. нового вида излучения.

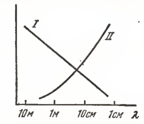


Рис. 20. Спектр галактического (I) *и изотропного «трехградусного»* (II) *излучения.*

Объяснение этого таинственного «трехградусного» излучения, наполняющего всю Вселенную, было дано очень быстро. Еще в 1948 г. известный физик Г. Гамов (тот самый, который за двадцать лет до этого объяснил α-распад радиоактивных ядер на основе представлений квантовой механики) разработал теорию первоначально очень горячей расширяющейся Вселенной. Речь идет о самых ранних этапах ее эволюции, когда не было ни звезд, ни галактик, ни даже тяжелых элементов (ведь последние образуются только в недрах звезд; см. гл. 6). По мере расширения этого чрезвычайно горячего «огненного шара» его температура должна быстро падать (по той же причине, по которой охлаждается расширяющийся в пустоту газ). Наконец, когда температура газа упадет приблизительно до

4000° (как показывают расчеты, это было тогда, когда «возраст» Вселенной был около 3 млн. лет, а размеры примерно в 1000 раз меньше современных), водород перестанет быть ионизованным. После этого заполняющее Вселенную излучение (которое в ту эпоху соответствовало нагретому до 4000° телу) перестанет взаимодействовать с веществом и в дальнейшем будет менять свою интенсивность и спектральный состав не так, как расширяющаяся материя. Расчеты показывают, что по мере расширения Вселенной это излучение будет все время сохранять свой «равновесный» характер (т. е. описываться известной формулой Планка), а его температура будет убывать обратно пропорционально размерам Вселенной. Между тем газ будет охлаждаться значительно быстрее обратно пропорционально квадрату «размеров» Вселенной *). Так как после «отклейки» излучения от вещества Вселенная увеличила свои размеры более чем в 1000 раз, то сейчас температура заполняющего Вселенную излучения должна быть около 3°; именно это излучение и было обнаружено сотрудниками лаборатории Бэлла. Таким образом, это излучение не генерируется какими-либо телами «современной» Вселенной, а отражает ее состояние на раннем этапе эволюции. По этой причине автор этой книги назвал его «реликтовым» и сейчас этот термин получил всеобщее распространение. Подобно тому, как некоторые виды животных и растений являют собой анахронизм и оказываются «застывшими» остатками той жизни, которая была на Земле в прошедшие геологические эпохи (например, сумчатые млекопитающие, некоторые виды рыб и т. д.), трехградусное излучение есть как бы «реликт» давно прошедшего этапа в эволюции мира.

Обнаружение «реликтового» излучения, наряду с открытием Хабблом «разбегания» галактик, является крупнейшим достижением наблюдательной космологии. Оно резко сокращает количество возможных гипотез об эволюции Вселенной. Например, оно, по-видимому, закрывает гипотезу «стационарной», не меняющейся со временем Вселенной, о которой речь шла выше. Оно делает также несостоятельной гипотезу пульсирующей между конечными значениями средней плотности Вселенной. Теперь можно считать полностью доказанным основное положение, что Вселенная эволюционирует, и притом сильнейшим образом. Вместе с тем открытие «реликтового» излучения и его объяснение демонстрирует поистине безграничные возможности познания объективно существующего, реального мира. Стоит немного задуматься: до 1963 г. максимальное наблюдаемое значение красного смещения было $z=0{,}47$ (для радиогалактики 3С 295 — см. предыдущую главу). В этом случае наблюдаемый объект излучал тогда, когда размеры Вселенной были в полтора раза меньше, чем сейчас, и она была моложе в 2 раза. Всего лишь 13 лет тому назад это считалось большим достижением. Открытие квазаров резко увеличило возможности астрономов «загля-

*) Под «размерами» расширяющейся Вселенной здесь понимается расстояние между двумя какими-нибудь точками, которое в процессе расширения непрерывно растет.

дывать» в прошлое Вселенной: квазар с $z \sim 3$ (а такие объекты наблюдаются, см. главу 6) соответствует размерам Вселенной, уже примерно в 4 раза меньшим, чем сейчас, и возрасту, в 8 раз меньшему! Это, конечно, гигантское продвижение «назад». И вот всего лишь через 2 года после обнаружения квазаров открывается реликтовое излучение, позволяющее наблюдать Вселенную, когда ее размеры были примерно в 1000 раз меньше современных, а возраст — в десятки тысяч раз меньше. И мы «непосредственно» видим, что в столь отдаленную эпоху еще никаких галактик и звезд не было и в помине, а Вселенная представляла собой просто расширяющееся, довольно горячее облако водородно-гелиевой плазмы с плотностью в несколько тысяч частиц на кубический сантиметр. Это — простейшая астрофизическая плазма, сходная с плазмой планетарных туманностей, но только «попроще» — ведь тяжелых элементов, присутствующих в планетарных туманностях, тогда еще не было. Есть, однако, одно существенное различие: в то время как плотность излучения в планетарных туманностях сравнительно невелика, наш «огненный шар» наполнен равновесным планковским излучением, плотность энергии которого на много порядков больше, чем плотность тепловой энергии плазмы. И вот надо представить, что закономерное развитие этого простейшего плазменного облака, наполненного равновесным излучением, привело к той невероятно богатой картине Вселенной, которую мы сейчас наблюдаем. Огромное разнообразие звезд, включая сюда и нейтронные звезды, планеты, кометы, живую материю с ее невероятной сложностью и много еще такого, о чем мы сейчас не имеем даже понятия,— все в конце концов развилось из этого примитивного плазменного облака. Невольно напрашивается аналогия с каким-то гигантским геном, в котором была закодирована вся будущая, невероятно сложная история материи во Вселенной... Конечно, это весьма поверхностная аналогия, но чувство безмерного удивления остается, по крайней мере у автора этой книги...

Кто может поручиться за то, что успехи науки в ближайшие несколько лет или десятилетий не позволят «заглянуть» в еще более ранние эпохи эволюции Вселенной? Заглянуть не глазами теоретиков (которым в известных пределах «все позволено»), а найти экспериментально нечто похожее на «реликтовые» кванты, но дающие информацию о гораздо более молодой Вселенной. Какой же она была до того, как излучение «отклеилось» от вещества? Ясно одно: она была еще меньшей, более горячей и более плотной. Никаких квантов излучения от той далекой эпохи сохраниться во Вселенной не могло. Похоже на то, что, в принципе конечно, сохраниться могли только нейтрино, для которых чудовищной плотности слои вещества — не преграда. Возможно, что когда-нибудь удастся наблюдать во Вселенной нейтрино, сохранившиеся во Вселенной от тех времен, когда ее возраст был меньше тысячных долей секунды, плотность превышала ядерную, а температура была выше, чем десятки миллиардов градусов, т. е. она была той самой «ядерной каплей», о которой речь шла

в начале этой главы. Сейчас нейтринная астрономия делает свои первые, совсем еще робкие шаги. Ее развитие будет неизбежно сопряжено с огромными трудностями. Но высочайшая цель — найти во Вселенной реальные (т. е. материальные) следы первых мгновений жизни Вселенной, должна оправдать все усилия на трудном пути развития нейтринной астрономии.

Вернемся, однако, к эпохе эволюции Вселенной, когда произошла «отклейка» излучения от вещества и возникли «реликтовые» кванты, улавливаемые современными радиотелескопами. Впереди еще гигантский эволюционный путь до современного состояния Вселенной. Плазма довольно быстро становится нейтральным водородно-гелиевым атомарным газом. Этот газ, расширяясь, быстро охлаждается, гораздо быстрее, чем излучение. Можно показать, что молекулы водорода образоваться не успеют — слишком мала скорость соответствующей химической реакции. Когда размеры Вселенной увеличатся в несколько десятков раз, а температура газа опустится ниже 5° шкалы Кельвина, наступит следующий очень важный период ее развития. Первоначально почти однородная газовая среда разобьется на отдельные сгустки. Причиной такой «фрагментации» в конечном итоге является закон всемирного тяготения. Детали этого важнейшего процесса известны сейчас очень плохо, но он, несомненно, имел место. Из этих сгустков, являющихся «протоскоплениями» галактик, путем дальнейшей фрагментации образовались меньшие сгустки. Каждый такой сгусток, характеризовавшийся определенной массой и вращательным моментом, постепенно эволюционировал в галактику. После этого расширение Вселенной сводилось к разлету галактик (т. е. к непрерывному увеличению расстояния между галактиками), между тем как сами галактики практически не расширялись.

Таким образом, нарисованная картина показывает, что галактики, а потом звезды образовались на сравнительно позднем этапе эволюции Вселенной, когда размеры последней были примерно в 10 раз меньше, чем сейчас. На ранних этапах своей эволюции галактики, по-видимому, были значительно более «активны», чем в наши дни (об активности галактик, точнее их ядер, см. предыдущую главу). Именно поэтому количество радиогалактик и квазаров в ту довольно отдаленную от нас эпоху было значительно больше, чем сейчас, о чем речь шла выше.

Далеко не весь газ Вселенной сконденсировался в галактики. Некоторая часть газа осталась в межгалактическом пространстве. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение образовавшихся к тому времени звезд и галактических ядер будет ионизовать и нагревать межгалактический газ. Температура его подымется до многих десятков миллионов градусов *). Таким образом, ожидаемая до-

*) Недавно было обнаружено рентгеновское излучение от межгалактического газа в скоплениях галактик; согласно этим наблюдениям температура межгалактического газа около 10^8 градуса, а плотность $\sim 10^{-4}$ частицы на кубический сантиметр или $\sim 10^{-28}$ $г/см^3$.

вольно высокая температура межгалактического газа в современной Вселенной есть результат его «вторичного» разогрева — ведь к моменту образования скоплений галактик он был очень холодный. Межгалактическое пространство заполнилось также сверхэнергичными заряженными частицами — космическими лучами, которые образовались в результате активности ядер галактик и взрывов сверхновых звезд. До образования галактик во Вселенной не было космических лучей так же, как и тяжелых элементов. Постепенно Вселенная стала принимать те черты, которые мы сейчас наблюдаем.

Итак, Вселенная эволюционировала и эволюционирует. Эта эволюция, являющаяся ее основной особенностью, наблюдается на всех уровнях. Мы сейчас обрисовали картину эволюции Вселенной в целом от примитивной водородно-гелиевой плазмы до того грандиозного своим многообразием феномена, который мы наблюдаем сейчас. В свою очередь эволюционируют галактики от простейших облаков до сложных спиральных звездных систем с огромным разнообразием популяций. Об эволюции звезд мы уже говорили в гл. 4. В гл. 9 речь будет идти об эволюции планетных систем. И, конечно, огромную эволюцию претерпела жизнь на Земле и, как следует полагать, на других планетах.

Современная наука о Вселенной — астрономия — вся насквозь эволюционна. Не всегда так было. Только развитие нашей науки, потребовавшее огромных усилий от ее творцов, привело к эволюционному взгляду на Вселенную, причем не в плане умозрительных заключений, а на основе строгого анализа фактов. В XVIII, XIX и даже первой половине XX столетия астрономия была статичной, застывшей. Изучались с большой точностью движения планет и комет, модели звездных атмосфер, их химический состав. И это, конечно, было очень важно. Но истинная картина меняющейся поражающей многообразием явлений, богатой «скачками» и взрывами Вселенной стала ясной астрономам только в последние четверть века. Этот период «бури и натиска» по справедливости может быть назван «революцией в астрономии». В первую треть нашего века аналогичную революцию пережила физика. Сейчас мы являемся свидетелями революционного взрыва в биологии. Вместе с последней астрономия сейчас находится в авангарде наук о природе.

Однако вернемся к космологии. Для решения общих вопросов о геометрии и метрике Вселенной очень важно оценить среднюю плотность вещества в ней. Эта оценка имела бы большое значение для выбора модели Вселенной, т. е. для вопроса о ее конечности или бесконечности. Оказывается, что «размазанная» плотность галактик дает величину, меньшую чем 10^{-30} *г/см³*.

Пока еще, однако, не совсем ясен вопрос, какая доля вещества во Вселенной находится в форме межгалактического газа. Можно только полагать, что этот газ должен быть очень горячим и достаточно разреженным. Если, например, окажется, что средняя плотность межгалактического вещества не больше размазанной плотности галактик, Вселенная не будет замкнута (так называемая «откры-

тая модель»). Имеются основания полагать, что важнейший вопрос о плотности межгалактической среды будет в близком будущем окончательно решен методами рентгеновской радиоастрономии.

Для того чтобы Вселенная была замкнута, нужно, чтобы средняя плотность межгалактического газа была примерно в 30 раз больше «размазанной» плотности галактик. Вряд ли это так *). Если же все-таки окажется, что Вселенная замкнута, следует иметь в виду, что это является некоторой характеристикой четырехмерного пространственно-временно́го многообразия. Непонимание этого обстоятельства часто находит свое выражение в недоумевающем вопросе: если Вселенная замкнута, то что же находится за ее пределами? Конечно, можно было бы представить и другие Вселенные, более или менее сходные с нашей, если бы Мир (или «Сверхвселенная») был многообразием пяти или большего количества измерений. Нет, однако, никаких оснований в пользу этого произвольного предположения.

Приходится также слышать мнение, что вывод о замкнутости Вселенной якобы несовместим с философией диалектического материализма. Это, конечно, заблуждение. Основным атрибутом Вселенной с точки зрения философии диалектического материализма является ее объективное существование и познаваемость. Нелепо связывать судьбу этой философии с каким-нибудь конкретным свойством Вселенной, например свойством конечности или бесконечности. Закономерности Вселенной потому и называются объективными, что не зависят от предвзятых взглядов отдельных людей, плохо понимающих дух философии диалектического материализма.

Для проблемы происхождения и развития жизни во Вселенной ее расширение имеет очень большое значение. Как легко показать математически, плотность поля излучения в бесконечной Вселенной, равномерно заполненной излучающими объектами, должна быть очень большой. Так как в этом случае звезды должны экранировать друг друга, то поверхностная яркость неба должна быть такой же, как у звезд или Солнца. Иными словами, небо было бы ослепительно ярко, а температура материи во всей Вселенной была бы около 5—10 тыс. °К. Тот факт, что яркость неба, обусловленная излучением всех объектов Вселенной, все-таки незначительна, хотя Вселенная может быть и бесконечной, требует объяснения. Эта проблема известна астрономам уже свыше полутора столетий. Она получила название «фотометрический парадокс».

Еще в XIX столетии делались попытки устранить фотометрический парадокс при помощи тех или иных гипотез о характере распределения излучающих объектов во Вселенной. Эти попытки, однако, носили весьма искусственный характер и оказались неудач-

---

*) В принципе нельзя исключить возможность того, что «скрытая» масса Вселенной (а она может составлять 90 и более процентов ее полной массы) существует в форме «черных дыр» различной массы.

ными. Столь же неудачны были попытки устранения фотометрического парадокса путем введения поглощающей материи, распределенной по всей Вселенной. Анализ показал, что наличие такой поглощающей свет материи только усилило бы парадокс.

Развитие современной космологии, основывающейся на теории относительности и подтвержденной наблюдениями реликтового излучения, устранило фотометрический парадокс. Решающим обстоятельством является наличие красного смещения в спектрах галактик. Благодаря этому явлению кванты света — фотоны, излученные очень далекими галактиками и дошедшие до нас, как бы «деградируют» или «тощают»: соответствующие им длины волн становятся все больше и больше, а энергии уменьшаются. Излучение самых удаленных от нас частей Вселенной благодаря явлению красного смещения уходит в длинноволновую, невидимую область спектра, и его интенсивность сильно падает. Можно сказать, что красное смещение как бы «срезает» излучение далеких областей Вселенной, тем самым устраняя фотометрический парадокс.

Необходимо подчеркнуть, что явление красного смещения, вызванного расширением, разлетом галактик, благоприятствует возникновению и развитию жизни в тех или иных уголках Вселенной. Если бы Вселенная не расширялась и была бы бесконечной, температура в ней была бы настолько высокой, что даже простейшие молекулярные соединения вряд ли могли образоваться. Конечно, нарисованная в этой главе картина развития и эволюции Вселенной является самой общей и по мере развития науки должна конкретизироваться и уточняться. Не исключено, разумеется, что отдельные важные детали этой картины претерпят существенное изменение. Но основной вывод, к которому подводит нас развитие космологии и астрофизики во второй половине XX столетия, вряд ли будет поколеблен: в истории развития Вселенной, рассматриваемой как целое, были (и, вероятно, будут) эпохи, весьма затрудняющие, если не исключающие, возникновение и развитие жизни. Жизнь есть закономерный этап развития материи во Вселенной. Тем более это относится к разумной жизни.

8

Кратные звездные системы

В гл. 2 мы рассматривали некоторые основные характеристики звезд: диаметр, светимость, цвет и др. К этим характеристикам следует добавить еще одну — кратность. Значительное число звезд (от 30 до 50%) образует двойные, тройные и другие кратные системы. Явление кратности, очевидно, является фундаментальным свойством огромного количества звезд.

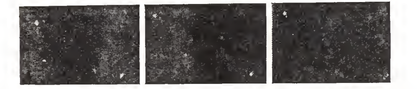


Рис. 21. Фотографии двойной звезды (получены в разные эпохи), указывающие на заметное орбитальное движение.

Наблюдается большое разнообразие свойств кратных систем. В ряде случаев звезды, образующие систему (или, как говорят астрономы, «компоненты системы»), находятся на довольно большом расстоянии (рис. 21). Систематические наблюдения позволяют установить орбитальное движение таких звезд друг относительно друга. На рис. 22 приведены последовательные положения одной из компонент двойной системы ξ Большой Медведицы относительно другой. Периоды обращения в отдельных случаях меняются от нескольких лет до тысячелетий. Применение известных законов небесной механики позволяет делать оценки масс звезд.

В большом числе случаев, однако, компоненты двойных систем расположены настолько близко, что их нельзя наблюдать раздельно; при таком положении двойственность системы доказывается спектральными наблюдениями. Благодаря орбитальному движению

звезд друг относительно друга их скорости по лучу зрения неодинаковы. Например, одна звезда может в данный момент к нам приближаться, другая — удаляться. Из-за эффекта Доплера это приведет к небольшому сдвигу спектральных линий одной звезды относительно соответствующих линий другой. Так как из-за орбитального движения скорости по лучу зрения периодически меняются *), то и смещение соответствующих линий тоже будет периодически меняться. Систематически наблюдая такое смещение и установив его зависимость от времени, можно совершенно надежно вычислить основные характеристики орбиты и получить некоторое представление о массах компонент тесной двойной системы. Такие близкие двойные системы называются астрономами «спектрально-двойными».

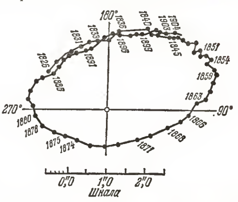


Рис. 22. Последовательные относительные положения компонент двойной звезды на орбите.

В тех сравнительно редких случаях, когда плоскость орбиты тесной пары звезд образует небольшой угол с лучом зрения, можно наблюдать как бы «затмение» одной звезды другой. Так как обе компоненты такой системы раздельно не видны ни в один даже самый мощный телескоп, то во время такого «затмения» можно наблюдать только уменьшение блеска звезды. Когда затмение кончается (обычно оно длится несколько часов), звезда восстанавливает свой первоначальный блеск. Построив по возможности точную зависимость блеска звезды от времени (так называемую «кривую блеска» звезды), можно совершенно уверенно определить не только основные параметры орбиты, но и диаметры звезд и даже установить, как спадает яркость их дисков от центра к краю. Схема орбиты затменной переменной звезды Алголь и соответствующая ей кривая блеска приведены на рис. 23.

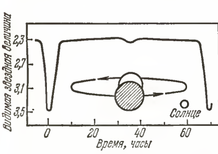


Рис. 23. Схема затменной двойной звезды.

*) Очевидно, период изменения скоростей равен периоду обращения одной звезды относительно другой.

Компоненты спектрально-двойных и затменных переменных звезд бывают расположены очень близко друг к другу — иногда они почти соприкасаются своими поверхностями. В таких случаях наблюдаются интересные и сложные явления вытекания материи из звезд, вызванные мощными приливными силами. Часто такие звезды погружены в общую протяженную, сильно разреженную газовую оболочку. Схема одной такой тесной пары приведена на рис. 24. Следует напомнить, что вся картина явления получается только из анализа спектров и блеска звезд. Разумеется, в телескопы

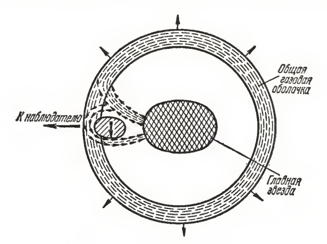


Рис. 24. Система β Лиры (схема).

изображения, подобные приведенному на рис. 24, никогда не наблюдаются: для этого недостаточна разрешающая способность даже самых крупных инструментов.

Периоды обращения тесных пар, как это следует из известного закона Кеплера и непосредственно подтверждается наблюдениями, очень малы. Самый короткий из известных периодов принадлежит затменной переменной WZ Стрелы. Он близок к 80 мин.

Как уже упоминалось в гл. 5, весьма вероятно, что все так называемые «новые» звезды представляют собой очень тесные двойные системы. Три такие звезды, согласно наблюдениям, являются затменными переменными. По-видимому, наличие «звезды-соседки», расположенной слишком близко, «мешает» нормальной эволюции звезды, в частности, переходу ее в стадию красного гиганта (см. ниже). При этом может возникнуть некоторая неустойчивость, приводящая к регулярно повторяющимся (через промежутки времени в сотни и тысячи лет) вспышкам. Во время таких вспышек светимость новых хотя и велика, но в тысячи раз меньше, чем у сверхновых. Масса газа, выбрасываемого при каждой вспышке, составляет 10^{-3}—10^{-5} массы Солнца.

Массы компонент двойной системы (в тех случаях, когда их можно найти порознь, а это возможно далеко не всегда) меняются в весьма широких пределах. Часто массы их почти одинаковы или, во всяком случае, близки. Бывает и так, что масса одной компоненты в 10 раз меньше другой, а светимости отличаются в тысячи раз и более. Среди компонент двойных систем наблюдаются белые карлики. Примером может служить спутник Сириуса. В настоящее время оживленно обсуждается интересный вопрос, есть ли среди компонент звездных систем «черные дыры» и нейтронные звезды. Скорее всего «рентгеновские звезды» связаны с такими двойными системами (см. ниже). Для интересующей нас проблемы особое значение имеет тот факт, что некоторые компоненты кратных систем обладают настолько малой массой, что их светимость совершенно ничтожна. Их нельзя наблюдать ни в какие телескопы, хотя они иногда находятся на довольно значительном расстоянии от «главной» массивной и яркой звезды. В таких случаях говорят о «невидимых спутниках» звезд. Классическим примером такой системы является одна из ближайших к нам звезд 61 Лебедя, особенно тщательно исследовавшаяся пулковским астрономом А. Н. Дейчем. Факт двойственности у этих звезд устанавливается путем изучения ничтожно малых периодических колебаний в движении главной звезды. Излишне подчеркивать, что такие наблюдения требуют большой точности и тщательности. В настоящее время известно уже несколько «невидимых» спутников. Их массы очень малы, приблизительно 0,01 солнечной массы, что всего лишь в 10 раз превышает массу планеты-гиганта Юпитера! И все же такие небесные тела являются з в е з д а м и, т. е. самосветящимися газовыми шарами, а не холодными планетами, светящими (в видимой части спектра) отраженными лучами звезды.

Впрочем, следует подчеркнуть, что разница между планетами-гигантами и невидимыми спутниками звезд не принципиальна. Во-первых, химический состав у них должен быть сходен; как те, так и другие состоят в основном из водорода и, возможно, гелия. Они находятся в одном и том же агрегатном состоянии: как те, так и другие представляют собой газовые шары, причем частицы газа удерживаются силой взаимного гравитационного притяжения. Если бы масса Юпитера была раз в 10 больше, температура в его центральных частях повысилась бы настолько, что он стал бы излучать (хотя и слабо) в видимой части спектра. Юпитер стал бы очень слабой звездой — красным карликом с температурой поверхности 1—2 тыс. °К.

Обращает на себя внимание большая распространенность невидимых спутников звезд. Так как условия их наблюдений очень трудны, они могут быть обнаружены только у очень близких к нам звезд. И вот оказывается, что в сфере радиусом в 10 *пс*, окружающей Солнце, из 53 звезд 5 имеют невидимые спутники! Вполне естественно возникает вопрос: не имеются ли у некоторых звезд еще меньших размеров спутники, которые в силу своей относительно ничтожно малой массы не вызывают заметных колебаний в движении этих

звезд? Но такие «ультраневидимые» спутники уже не отличаются практически от больших планет типа Юпитера и Сатурна. Тем самым мы подходим к основному вопросу: имеются ли основания полагать, что у многих звезд существуют планетные системы, в той или иной степени напоминающие нашу?

К этой центральной проблеме мы вернемся в следующей главе. Здесь же мы рассмотрим более узкий вопрос: можно ли в настоящее время средствами современной наблюдательной астрономии доказать наличие планет у ближайших к нам звезд? Ограничим рассмотрение только большими планетами-гигантами. Ясно, что если, например, в настоящее время не существует возможности наблюдать даже около самых близких к нам звезд большие планеты, то не может быть и

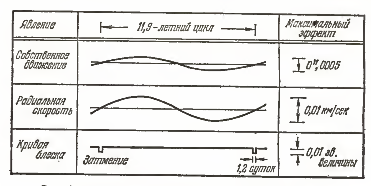


Рис. 25. Три способа обнаружения планет около звезд.

речи о наблюдениях, особенно интересных для нас, планет типа Земли или Марса.

Допустим, что на расстоянии 10 *пс* от нас (около 33 световых лет) находится звезда, похожая на Солнце. Вокруг этой звезды на таком же расстоянии, что и Юпитер от Солнца (в 5,2 раза большем, чем расстояние от Солнца до Земли), обращается планета-гигант. Пусть эта планета будет «двойником» Юпитера, т. е. имеет такие же размеры и массу. Предположим еще, что мы находимся почти точно в плоскости орбиты этой планеты. В принципе обнаружить наличие такой планеты около звезды можно тремя способами (рис. 25). Первый из них заключается в следующем. Очень медленное перемещение звезды по небу *), обусловленное ее движением относительно Солнца, должно носить «волновой» характер. Период «волны» будет, очевидно, равен периоду движения планеты, т. е. в нашем случае 11,9 года. Такое «волновое» движение объясняется тем, что звезда из-за притяжения планетой движется по эллиптической орбите вокруг общего центра тяжести звезды и планеты. Это орбитальное дви-

*) Такое перемещение называется «собственным движением» звезды. Для близких звезд оно достигает нескольких секунд дуги в год.

жение складывается с пространственным движением. Так как масса звезды в 1000 раз больше, чем масса планеты, центр масс системы находится близко от центра звезды. Поэтому амплитуда «волны» в собственном движении звезды очень невелика.

Расчеты, выполненные известным американским астрономом О. Л. Струве, показывают, что отклонение собственного движения от прямолинейного не превышает 0,0005 сек. дуги в год, т. е. ничтожно мало и находится за пределами точности современных астрономических наблюдений. Заметим, что, если бы масса спутника звезды была в 10—20 раз больше, чем у Юпитера, такие колебания в собственном движении уже можно было бы (правда, с трудом) обнаружить. Именно этим способом были открыты и изучаются невидимые спутники некоторых близких звезд, о которых шла речь.

Другой способ — спектроскопический. Движение звезды по орбите вокруг центра масс системы «звезда — планета» должно вызывать периодические колебания составляющей скорости звезды по лучу зрения. В самом деле, легко убедиться, что будут такие промежутки времени, когда орбитальная скорость направлена к нам и от нас. Период колебаний лучевых скоростей должен быть равен периоду обращения планеты. Однако этот эффект ничтожно мал. Расчет О. Л. Струве показывает, что периодические изменения лучевой скорости звезды не превышают 10 *м/сек*, что составляет примерно тысячную долю полной лучевой скорости звезды. Скорости 10 *м/сек* соответствует смещение длины волны спектральной линии примерно на 0,0001 Å (напомним, что 1 Å$=10^{-8}$ *см*, а длина волны видимых лучей лежит в пределах 4—7 тыс. Å). Такие ничтожно малые изменения длины волны измерить невозможно, особенно если учесть, что спектральные линии не бесконечно узки, а имеют конечную ширину порядка десятых долей ангстрема и больше.

Третий способ — фотометрический, т. е. сводится к систематическому, по возможности точному, измерению блеска звезды. Так как по условию земной наблюдатель находится в плоскости орбиты планеты, то периодически каждые 11,9 года планета будет проектироваться на диск звезды. Подобное явление наблюдается и в Солнечной системе. Мы имеем в виду прохождение планет Венеры и Меркурия по диску Солнца. Так как планета — темное, не самосветящееся тело, то в случае, когда она проектируется на звезду, некоторая (малая) часть диска последней будет закрыта. Поэтому блеск звезды будет несколько уменьшен. Это аналогично явлению затменных переменных звезд (см. рис. 23).

Расчеты показывают, что при прохождении планеты размером с Юпитер через диск звезды, подобной Солнцу, ее блеск уменьшится на 0,01 звездной величины. Интересно отметить, что такие малые изменения потока излучения от звезд современная электрофотометрия зарегистрировать уже может. Вспомним, однако, что мы рассматривали очень маловероятный случай, когда направление «Солнце — звезда» лежит в плоскости орбиты планеты. Достаточно отклониться этому направлению всего лишь на 0,5 сек. дуги, как уже планета ни

при каком положении не будет проходить через диск. Таким образом, и этот способ наблюдения планет, обращающихся вокруг звезд, оказывается практически нереальным.

Напомним, что речь шла о возможности наблюдений очень большой планеты, обращающейся по орбите вокруг достаточно близкой к нам звезды. Из сказанного следует, что **современная астрономия прямыми наблюдениями не в состоянии обнаружить** присутствия планет у звезд, удаленных от нас на расстояние более 10 *пс*. Впрочем, необходимо заметить, что недалеко то время, когда такие наблюдения смогут быть проведены. Если на космической научной станции, установленной на искусственном спутнике Земли, будет крупный телескоп с объективом диаметром 1—2 *м* или больше, то появится возможность непосредственных наблюдений планет-гигантов, обращающихся вокруг близких к нам звезд. Дело в том, что возможности больших телескопов, расположенных на Земле, используются далеко не полностью. Из-за преломления света на мелких, беспорядочно движущихся струях и неоднородностях атмосферы даже точечный источник света (например, звезда) размазывается в диск размерами 0,5—2 сек. дуги. Между тем если планета-гигант удалена от своей звезды на расстояние, равное расстоянию от Земли до Солнца («астрономическая единица»), а сама звезда удалена от нас на 10 *пс*, то угловое расстояние между планетой и звездой никогда не будет превышать 0,1 сек. дуги. Это означает, что телескоп любых размеров, если он установлен на Земле, не разделит изображения планеты и звезды. Кроме того, ввиду рассеяния света в земной атмосфере вокруг сравнительно яркой звезды всегда будет светящийся ореол, в котором полностью «утонет» ничтожно слабая по своей яркости планета.

Другое дело, если такой телескоп помещен на космической станции. Атмосферные помехи, о которых шла речь, уже не будут мешать наблюдениям. Это, конечно, не означает, что можно будет раздельно наблюдать (например, фотографировать) сколь угодно близкие друг к другу звезды. Существует и здесь предел, обусловленный волновой природой света. Ввиду дифракции на оправе объектива телескопа каждая звезда в фокальной плоскости последнего даст систему колец конечной толщины. По этой причине предельное угловое «разрешение» телескопа пропорционально отношению длины волны света к диаметру объектива. Например, для синих лучей при диаметре объектива 1 *м* предельное угловое расстояние между звездами, при которых их еще можно наблюдать раздельно, будет меньше 0,1 сек. дуги. Применение специальных приборов — интерферометров — позволяет измерять углы даже в 0,01 сек. дуги.

Звездная величина большой планеты, сходной с Юпитером, находящейся на расстоянии одной астрономической единицы от звезды, похожей на Солнце и удаленной от нас на расстояние 10 *пс*, будет около 24. Можно полагать, что при помощи современной техники наблюдений такой слабый объект будет обнаружен с космической станции. Эти тонкие наблюдения вряд ли можно будет полно-

стью автоматизировать, по крайней мере в близком будущем. Только астрономы-космонавты смогут попытаться решить столь трудную задачу. Эту же задачу, как можно полагать, будут решать и на большой стационарной обсерватории, которая когда-нибудь будет украшать пустынный лунный ландшафт *). И в этом случае такие наблюдения, по-видимому, будут проводиться человеком.

Приведенные выше соображения относятся к оценке возможности наблюдать планетные системы на расстояниях 10 *пс* и больше. Ну, а если планетная система находится «совсем близко», на расстоянии 1,5—2 *пс*? На таком расстоянии от нас находится столь малое число звезд, что их можно буквально пересчитать по пальцам. Казалось бы, вероятность обнаружения планетных систем у наших ближайших соседей должна быть весьма незначительной. Тем большее значение имеет исключительно важное исследование известного американского астронома Ван де Кампа, касающееся одной из наиболее близких к нам звезд — знаменитой «летящей звезды Барнарда».

Эта замечательная звезда находится в созвездии Змееносца и отличается самым большим собственным движением среди всех известных звезд. По этой причине она и получила свое необычное название. Хорошо известно, что звезды только в первом приближении можно называть «неподвижными», т. е. не меняющими своего положения друг относительно друга. В действительности из-за того, что они движутся в пространстве с относительными скоростями порядка десятков километров в секунду, их взаимное расположение очень медленно меняется. Однако по причине огромной величины межзвездных расстояний угловое перемещение по небесной сфере за год (а это и есть «собственное движение») даже для самых близких звезд очень редко превышает 1 сек. Для звезды Барнарда эта величина равна 10,3 сек. в год. Это означает, что за 180 лет она переместится по небу на величину лунного диаметра, который, как известно, близок к $^1/_2$ градуса. Столь большое собственное движение этой звезды объясняется, прежде всего, тем, что после тройной системы α Центавра звезда Барнарда является нашей ближайшей соседкой. Расстояние до нее всего лишь 1,8 *пс*. Это очень слабый красный карлик спектрального класса М5, радиус которого в 6 раз меньше солнечного, а масса составляет 15% солнечной массы.

Многолетние наблюдения Ван де Кампа привели к открытию у этой звездочки невидимого спутника рекордно малой массы. На протяжении 25 лет американский астроном получил около 2000 фотографий этой звезды. Годичному собственному движению исследуемого объекта соответствовало смещение положения изображенная на фотографии на 0,546 *мм*. Тщательные измерения

*) Если бы планета и звезда имели сравнимые, и притом достаточно большие, яркости, интерферометрические наблюдения могли бы быть выполнены и с телескопами, установленными на поверхности Земли. Но так как яркость планеты ничтожно мала по сравнению с яркостью звезды, рассеяние в атмосфере исключает такие наблюдения.

«траектории» звезды Барнарда по отношению к соседним звездам позволили обнаружить волнообразный характер этой «траектории».

На рис. 26 приведены осредненные результаты этих измерений по двум небесным координатам — прямому восхождению и склонению. Из этого рисунка отчетливо видны периодические колебания собственного движения звезды Барнарда, причем период близок к 24 годам. Для того чтобы почувствовать малость измеряемого эффекта, на рис. 26 в верхнем правом углу приведен масштаб, равный 0",01. Такие периодические изменения собственного движения могут быть объяснены наличием «легкого» невидимого спутника. Зная массу звезды и период обращения, можно определить из третьего закона Кеплера большую полуось орбиты спутника, которая оказывается

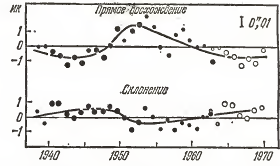


Рис. 26. Отклонения в собственном движении звезды Барнарда за 24 года.

равной 4,4 астрономической единицы. На таком расстоянии полуось орбиты была бы видна под углом 2",4. Сама звезда движется с тем же периодом вокруг центра масс системы, причем максимум ее углового смещения должен быть во столько раз меньше 2",4, во сколько раз ее масса больше. Отсюда следует, что масса невидимого спутника должна быть почти в 100 раз меньше, чем масса самой звезды Барнарда. Это значит, что его масса составляет 0,0015 солнечной массы и всего лишь в 1,5 раза больше массы Юпитера! Увы! Этот увлекательный результат сейчас оспаривается. Не исключено, что он обусловлен какой-нибудь периодической ошибкой винтов измерительного инструмента. Во всяком случае другие исследователи пока не подтвердили открытие ван де Кампа.

Если это открытие подтвердится, то, скорее всего, невидимый спутник звезды Барнарда — это большая планета, очень похожая на Юпитер. Она не может быть самосветящимся объектом, а светит только отраженным светом своего маленького красного «солнца». При таких условиях его видимая звездная величина составляет около 30, в то время как видимая величина самой звезды Барнарда равна 9,5. Нет никакой надежды при помощи современных методов астрономии непосредственно наблюдать спутник звезды Барнарда. На рис. 27 приведена орбита спутника этой звезды. Окружность

(штриховая линия) соответствует величине изображения звезды Барнарда при средних условиях наблюдений.

Таким образом, открытие ван де Кампа (если оно, конечно, подтвердится) с очевидностью доказывает огромную распространенность планетных систем во Вселенной, ибо даже у самой близкой к нам звезды имеется планетная система. Правда, налицо одно существенное различие между нашей планетной системой и системой звезды Барнарда: спутник последней движется по резко эллиптической орбите, между тем как большие планеты Солнечной системы движутся по почти круговым орбитам. Пока неясно, является ли это различие принципиальным. Так или иначе, множественность планетных систем после открытия ван де Кампа представляется довольно вероятной.

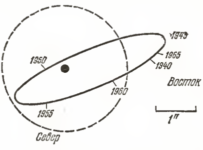


Рис. 27. Орбита спутника звезды Барнарда. Штриховая окружность показывает размеры фотографического изображения этой звезды при средних условиях наблюдений.

Вполне естественно считать, что кратность звезд и наличие планетных систем суть одно и то же явление. В этой связи отметим, что, согласно исследованиям американского астронома Койпера, среднее расстояние между компонентами двойных звезд около 20 астрономических единиц, что близко к размерам Солнечной системы. В следующей главе мы подробно рассмотрим еще один очень важный аргумент в пользу множественности планетных систем во Вселенной, а пока немного остановимся на происхождении кратных звездных систем.

В свое время большое распространение имела гипотеза деления одной первоначальной звезды на две компоненты. Причиной деления могло быть очень быстрое вращение звезды. Под действием центробежной силы поверхность быстро вращающейся звезды перестает быть сферической. Расчеты показывают, что при некоторых идеализированных условиях быстро вращающееся тело приобретает характерную грушевидную форму, а при еще более быстром вращении оно может потерять устойчивость и распасться на две части.

Однако гипотеза деления оказалась неспособной объяснить результаты наблюдения и должна была быть поэтому оставлена. Некоторые ученые (например, О. Ю. Шмидт) выдвигали гипотезу «захвата», согласно которой при определенных условиях две звезды, до этого двигавшиеся в пространстве независимо, сближаясь, могут образовать двойную систему. Хотя математически такой процесс возможен (например, при случайном сближении трех звезд одновременно), вероятность его ничтожно мала. Кроме того, он противоречит наблюдениям. Никак нельзя объяснить, например, почему четверные системы всегда бывают такие, как это схематически изобра-

жено на рис. 28. Вся совокупность фактов, накопленных астрономией за последние два десятилетия, говорит о том, что кратные системы *образовались совместно* из некоторой первоначальной газово-пылевой межзвездной среды.

В процессе звездообразования возникают, как правило, целые группы звезд — ассоциации, скопления и кратные системы. Отсюда следует важный вывод: компоненты кратной системы должны иметь одинаковый возраст. Современные представления об эволюции звезд, о которых было рассказано в гл. 4, позволяют понять некоторые характерные особенности кратных систем. Эти особенности были установлены чисто эмпирически уже давно и представлялись совершенно непонятными.

Рис. 28. Четверная система звезд (схема).

Например, очень часто встречается такая комбинация, когда обе компоненты кратной системы являются горячими звездами спектральных классов O или ранних подклассов B. Современные представления об эволюции звезд вполне объясняют этот факт: из первичной туманности образовались одновременно две звезды с очень близкими массами, которые, естественно, находятся на одинаковых стадиях эволюции.

В случае, когда эволюционирует тесная двойная система, с периодом обращения меньше недели и с расстоянием между компонентами меньше 0,1 астрономической единицы, факт двойственности существенно определяет характер эволюций. Вначале, пока обе звезды находились на главной последовательности, их эволюция протекала так же, как и в случае, когда они были бы изолированы. Но затем более массивная звезда после «выгорания» водорода в ее ядре начнет «разбухать», переходя в стадию красного гиганта; она достигнет такого критического радиуса, при котором дальнейшее его увеличение становится невозможным, ибо вещество в поверхностных слоях эволюционирующей звезды начнет перетекать на вторую компоненту. За «каких-нибудь» несколько десятков тысяч лет, существенная часть массы эволюционирующей звезды перетечет на вторую компоненту, которая станет более массивной, между тем как светимость эволюционирующей, но уже менее массивной компоненты, будет более высокой, хотя и не такой высокой, как у гигантов. Такие звезды называются «субгигантами» и их можно видеть на диаграмме Герцшпрунга — Рессела (см. рис. 2). Все это время от эволюционирующей звезды на вторую компоненту будут течь струи газа, а сама двойная система будет как бы погружена в газовое облако (см. рис. 24). Ввиду огромной распространенности явления кратности среди звезд нашей Галактики (не меньше 50% звезд которой входят в состав кратных систем) особый характер эволюции звезд в таких системах имеет принципиальный характер.

Лет десять назад к этой коллекции фактов, касающихся характеристик компонент двойных систем, присоединился новый, не менее интересный. Как известно, массивные горячие молодые звезды имеют сравнительно малые хаотические скорости пространственных движений, как правило, меньше 10 *км/сек*. Именно поэтому они очень сильно концентрируются к галактической плоскости (см. гл. 1).

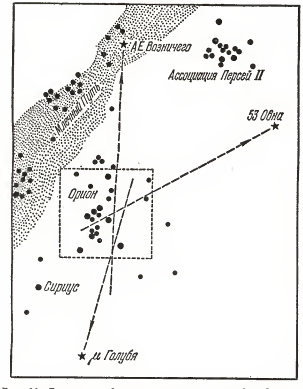


Рис. 29. Горячие звезды, вылетающие из созвездия Ориона.

Но из этого правила имеются уже давно известные исключения. Небольшое количество горячих массивных звезд движется с необыкновенно большими пространственными скоростями, достигающими 100 *км/сек*. Оказывается, что такие звезды некоторое время назад «вылетели» из тех или иных звездных ассоциаций — групп молодых горячих звезд (см. гл. 4). Это хорошо видно на рис. 29, где звездочками изображены три такие «быстрые» горячие звезды. Пунктирные прямые — направления их движений по небу. Три прямые почти пересекаются в области созвездия Ориона, где находится большая ассоциация горячих звезд. Так как расстояние до ассоциации Ориона известно, то по найденным скоростям звезд можно установить,

что «беглецы» покинули ассоциацию совсем «недавно» — от 2 до 5 млн. лет назад.

По какой же причине выбрасываются такие звезды из ассоциации? Голландский астроном Блаау обратил внимание на то, что звезды-«беглецы» всегда являются одиночками. Между тем кратность среди массивных, горячих звезд особенно распространена — почти половина их образует кратные системы. Чтобы объяснить этот удивительный факт, голландский астроном выдвинул предположение о том, что раньше звезды-беглецы были компонентами двойных систем. Вторая компонента — более массивная горячая звезда того же спектрального класса О — взорвалась, как сверхновая II типа (см. гл. 5).

Что произойдет, если более массивная звезда в двойной системе вдруг как бы исчезнет, пропадет? Сила притяжения не будет больше удерживать оставшуюся звезду на ее эллиптической орбите. Она уйдет по касательной к своей орбите, сохранив при этом орбитальную скорость. В действительности, конечно, масса взорвавшейся звезды не может бесследно исчезнуть. Если расширяющаяся туманность — остаток взрыва сверхновой — находится внутри орбиты оставшейся звезды, сила притяжения почти не изменится и звезда никогда «не убежит». Если же звезда окажется внутри туманности, последняя почти не будет ее притягивать. Чтобы описанный «эффект пращи» (иначе его трудно назвать) имел место, необходимо, чтобы газы — продукты взрыва сверхновой — ушли за орбиту оставшейся звезды за время, значительно меньшее, чем период обращения. Это условие будет выполняться для двойной системы, компоненты которой удалены одна от другой достаточно далеко, например на 10—20 астрономических единиц. При этом периоды обращения должны быть порядка нескольких лет, а орбитальные скорости (при достаточно массивных звездах) — около 100 *км/сек*.

Наличие среди компонент кратных систем белых карликов (например, в системе Сириуса) легко объясняется тем, что более массивная компонента закончила свой эволюционный путь, став маленькой, очень плотной звездой (см. гл. 4). Напротив, нельзя представить двойную систему, у которой одна компонента — горячая, массивная звезда спектрального класса О, а вторая — обыкновенный красный гигант с массой в 1,5—2 раза больше солнечной. Ведь для того, чтобы звезда такой массы сошла с главной последовательности и стала красным гигантом, нужно соответственно 4 и 2 млрд. лет (см. табл. 1), в то время как горячая звезда класса О не может существовать свыше 10 млн. лет. И действительно, подобные двойные системы неизвестны.

В § 5 мы уже говорили, что «звездные» рентгеновские источники никак не могут быть «молодыми», еще не успевшими остыть нейтронными звездами, так как последние слишком быстро остывают. И все же совершенно неожиданно выяснилось, что эти космические рентгеновские источники являются нейтронными звездами. Наблюдения, выполненные на специализированном американском рентге-

новском спутнике «УХУРУ» привели к удивительному открытию: поток излучения от довольно большого количества источников меняется со временем строго периодически, причем периоды составляют несколько дней. У двух источников были обнаружены, кроме того, короткопериодические изменения потока с периодами 1,25 и 4,88 секунды. Эти короткие периоды в свою очередь плавно менялись с указанным выше длинным периодом, причем амплитуды изменений малых периодов хотя и малы, но вполне измеримы.

Объяснение этим удивительным фактам весьма простое и даже очевидное. Рентгеновский источник — это маленькая, компактная звезда, вращающаяся вокруг второй, «нормальной», звезды, причем луч зрения почти «скользит» вдоль плоскости орбиты. Минимум потока рентгеновского излучения наблюдается тогда, когда рентгеновская компонента заходит за оптическую. Другими словами, мы наблюдаем затменную двойную систему.

Наличие секундных периодов означает, что наблюдаемые источники представляют собой «рентгеновские пульсары», т. е. очень быстро вращающиеся звезды. Так как минимальный период такого осевого вращения лишь немногим больше секунды, то это не могут быть белые карлики. Только нейтронные звезды могут иметь такие короткие периоды вращения. Изменение величины периода коротких рентгеновских импульсов, обусловленных осевым вращением, в течение орбитального периода очевидным образом объясняется эффектом Доплера. Из амплитуды этих изменений непосредственно определяется орбитальная скорость рентгеновской звезды.

В ряде случаев по изменениям положения линий поглощения в спектре оптической компоненты такой двойной системы был определен орбитальный период, который оказался в точности равным периоду, полученному из рентгеновских наблюдений.

Во всех случаях нейтронные звезды, излучающие рентгеновские кванты, входят в состав тесных двойных систем. В таких системах при достаточно большом радиусе оптической компоненты с части ее поверхности, обращенной ко второй компоненте, непрерывно будет истекать струя газа. По этой причине вокруг нейтронной звезды образуется быстро вращающийся газовый диск, вещество которого будет падать на поверхность нейтронной звезды. Так как скорость свободного падения газа довольно близка к скорости света, при таком процессе (называемом «аккреция») будет выделяться огромное количество энергии, которая нагреет газ в диске до температуры в несколько десятков миллионов градусов, сделав его мощным источником рентгеновского излучения. Сходные процессы будут иметь место и тогда, когда компонентой «оптической» звезды будет «черная дыра». Различить «черную дыру» от нейтронной звезды можно тогда, когда известна масса рентгеновской компоненты из наблюдений двойной системы, в которой она находится. Напомним, что если масса «компактной», «проэволюционировавшей» рентгеновской компоненты больше 2,5 солнечных масс, она должна быть «черной

дырой» (см. § 5). Похоже на то, что одна «черная дыра» уже наблюдается — это знаменитый рентгеновский источник Лебедь X-1.

Таким образом, нейтронные звезды «сами по себе» не являются рентгеновскими источниками. Только тогда, когда они окажутся в тесной двойной системе, при определенных условиях начнет действовать «машина», весьма эффективно вырабатывающая рентгеновское излучение с помощью глубокой «потенциальной ямы» в окрестностях нейтронной звезды, куда падает газовая струя, поставляемая оптической компонентой. То же самое относится, конечно, и к «черным дырам».

Таким образом, все изложенные факты доказывают, что кратные системы образовались совместно и одновременно. Коль скоро имеются основания предполагать, что планетные системы в принципе не отличаются от кратных звездных систем, планеты должны образоваться параллельно с формированием соответствующих звезд.

9

О происхождении планетных систем

Вот уже два века проблема происхождения Солнечной системы волнует выдающихся мыслителей нашей планеты. Этой проблемой занималась, начиная от философа Канта и математика Лапласа, плеяда астрономов и физиков XIX и XX столетий. Ей отдал дань наш замечательный соотечественник, человек разносторонне талантливый, Отто Юльевич Шмидт. И все же мы еще очень далеки от ее решения. Какие только тайны не были вырваны у природы за эти два столетия! За последние два десятилетия существенно прояснился вопрос о путях эволюции звезд. И хотя детали удивительного процесса рождения звезды из газово-пылевой туманности еще далеко не ясны, мы теперь четко представляем, что с ней происходит на протяжении миллиардов лет дальнейшей эволюции. Об этом довольно подробно шла речь в гл. 4. Увы, вопрос о происхождении и эволюции планетной системы, окружающей наше Солнце, далеко не так ясен.

На первый взгляд кажется странным и даже парадоксальным, что астрономы смогли узнать о космических объектах, весьма удаленных и наблюдаемых с большими трудностями, гораздо больше, чем о планетах и Солнце, которые (по астрономическим масштабам, разумеется) находятся у нас «под боком». Однако в этом нет ничего удивительного. Дело в том, что астрономы наблюдают огромное количество звезд, находящихся на разных стадиях эволюции. Изучая звезды в скоплениях, они могут чисто эмпирически установить, как зависит темп эволюции звезд от начальных условий, например массы. Если бы не было этого обширного эмпирического материала (прежде всего рассматривавшейся нами выше диаграммы «цвет — светимость» для большого числа скоплений), вопрос об эволюции звезд был бы предметом более или менее бесплодных спекуляций, как это и было примерно до 1950 г.

В совершенно другом положении находятся исследователи происхождения и эволюции нашей планетной системы. Ведь мы пока не можем непосредственно наблюдать такие системы даже около самых

близких звезд (см. гл. 8). Если бы это удалось и мы имели реальное представление, как выглядят планетные системы на разных этапах своей эволюции или хотя бы как сильно отличаются одни планетные системы от других, эта волнующая проблема была бы, несомненно, решена в сравнительно короткие сроки. Но пока мы наблюдаем планетную систему, так сказать, «в единственном экземпляре». Более того, необходимо еще доказать, что около других звезд имеются планетные системы. Ниже мы попытаемся это сделать, пользуясь наблюдаемыми характеристиками звезд.

Значит ли это, что мы еще решительно ничего не можем сказать о происхождении Солнечной системы, кроме тривиального утверждения, что она как-то образовалась не позже чем 5 млрд. лет назад, потому что таков приблизительно возраст Солнца? Такая «пессимистическая» точка зрения так же мало обоснована, как и излишний оптимизм адептов той или иной космогонической гипотезы. Можно сказать, что кое-что о происхождении семьи планет, обращающихся вокруг Солнца, мы уже знаем. А главное (и это особенно существенно для вопроса, которому посвящена эта книга), мы располагаем вполне научными аргументами в пользу утверждения, что многие звезды обладают планетными системами.

Переходя к изложению (по необходимости весьма краткому) различных космогонических гипотез, сменявших одна другую на протяжении последних двух столетий, мы начнем с гипотезы, впервые высказанной великим немецким философом Кантом и спустя несколько десятилетий независимо предложенной замечательным французским математиком Лапласом. Из дальнейшего будет видно, что существенные предпосылки этой классической гипотезы выдержали испытание временем, и сейчас в самых «модернистских» космогонических гипотезах мы легко можем найти основные идеи гипотезы Канта — Лапласа.

Точки зрения Канта и Лапласа в ряде важных вопросов резко отличались. Кант, например, исходил из эволюционного развития холодной пылевой туманности, в ходе которого сперва возникло центральное массивное тело — будущее Солнце, а потом уже планеты, в то время как Лаплас считал первоначальную туманность газовой и очень горячей, находящейся в состоянии быстрого вращения. Сжимаясь под действием силы всемирного тяготения, туманность, вследствие закона сохранения момента количества движения, вращалась все быстрее и быстрее (об этом подробнее речь будет идти ниже). Из-за больших центробежных сил, возникающих при быстром вращении в экваториальном поясе, от него последовательно отделялись кольца. В дальнейшем эти кольца конденсировались, образуя планеты (схема, иллюстрирующая эту гипотезу, приведена на рис. 30).

Таким образом, согласно гипотезе Лапласа, планеты образовались раньше Солнца. Однако, несмотря на такое резкое различие между двумя гипотезами, общей их важнейшей особенностью является представление, что солнечная система возникла в резуль-

тате закономерного развития туманности. Поэтому и принято называть эту концепцию «гипотезой Канта — Лапласа».

Уже в середине XIX столетия стало ясно, что эта гипотеза сталкивается с фундаментальной трудностью. Дело в том, что наша планетная система, состоящая из девяти планет весьма разных размеров, обладает одной замечательной особенностью. Речь идет о необычном распределении момента количества движения Солнечной системы между центральным телом — Солнцем и планетами.

Момент количества движения есть одна из важнейших характеристик всякой изолированной от внешнего мира механической системы. Именно как такую систему мы можем рассматривать Солнце



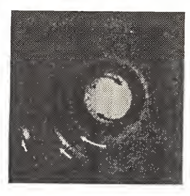


Рис. 30. Схема, поясняющая космогоническую систему Лапласа.

и окружающую его семью планет. Момент количества движения может быть определен как «запас вращения» системы. Это вращение складывается из орбитального движения планет и вращения вокруг своих осей Солнца и планет.

Математически «орбитальный» момент количества движения планеты относительно центра масс системы (весьма близкого к центру Солнца) определяется как произведение массы планеты на ее скорость и на расстояние до центра вращения, т. е. Солнца. В случае вращающегося сферического тела, которое мы будем считать твердым, момент количества движения относительно оси, проходящей через его центр, равен 0,4 MvR, где M — масса тела, v — его экваториальная скорость, R — радиус. Хотя суммарная масса всех планет составляет всего лишь 1/700 солнечной, учитывая, с одной стороны, большие расстояния от Солнца до планет и с другой — малую скорость вращения Солнца *), мы получим путем простых вычислений, что 98% всего момента Солнечной системы связано с орбитальным движением планет и только 2% — с вращением Солнца вокруг оси.

*) Скорость вращения Солнца на его экваторе составляет всего лишь 2 *км/сек*, что в 15 раз меньше скорости Земли на орбите.

Момент количества движения, связанный с вращением планет вокруг своих осей, оказывается пренебрежимо малым из-за сравнительно малых масс планет и их радиусов.

На рис. 31 схематически представлено распределение момента количества движения между Солнцем и планетами. Значения моментов даны в системе единиц CGS, принятой в физике. Найдем, например, момент количества движения Юпитера I. Масса Юпитера равна $M=2\cdot10^{30}$ *г* (т. е. 10^{-3} массы Солнца), расстояние от Юпитера до Солнца $r=7{,}8\cdot10^{13}$ *см* (или 5,2 астрономической единицы), а орбитальная скорость $v=1{,}3\cdot10^{6}$ *см/сек* (около 13 *км/сек*). Отсюда

$$I = mvr = 190\cdot10^{48}.$$

В этих единицах момент количества движения вращающегося Солнца равен всего лишь $6\cdot10^{48}$. Из рисунка видно, что все планеты

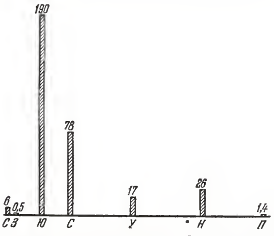


Рис. 31. Распределение вращательного момента в Солнечной системе (в единицах 10^{48} CGS*).*

земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс — имеют суммарный момент в 380 раз меньший, чем Юпитер. Львиная доля момента количества движения Солнечной системы сосредоточена в орбитальном движении планет-гигантов Юпитера и Сатурна.

С точки зрения гипотезы Лапласа, это совершенно непонятно. В самом деле, в эпоху, когда от первоначальной, быстро вращающейся туманности отделялось кольцо, слои туманности, из которых впоследствии сконденсировалось Солнце, имели (на единицу массы) примерно такой же момент, как вещество отделившегося кольца *). Так как масса последнего была значительно меньше массы основной части туманности («протосолнца»), то полный момент количества

*) Так как угловые скорости кольца и оставшихся частей были почти одинаковы.

движения у кольца должен быть много меньше, чем у «протосолнца». В гипотезе Лапласа отсутствует какой бы то ни было механизм передачи момента от «протосолнца» к кольцу. Поэтому в течение всей дальнейшей эволюции момент количества движения «протосолнца», а затем и Солнца должен быть значительно больше, чем у колец и образовавшихся из них планет. Но этот вывод находится в разительном противоречии с фактическим распределением момента количества движения между Солнцем и планетами!

Для гипотезы Лапласа эта трудность оказалась непреодолимой. На смену ей стали выдвигаться другие гипотезы. Мы не будем их здесь даже перечислять — сейчас они представляют только исторический интерес. Остановимся лишь на гипотезе Джинса, получившей повсеместное распространение в первой трети текущего столетия. Эта гипотеза во всех отношениях представляет собой полную противоположность гипотезе Канта — Лапласа. Если последняя рисует образование планетных систем (в том числе и нашей Солнечной) как единый закономерный процесс эволюции от простого к сложному, то в гипотезе Джинса образование таких систем есть дело случая и представляет редчайшее, исключительное явление.

Согласно гипотезе Джинса, исходная материя, из которой в дальнейшем образовались планеты, была выброшена из Солнца (которое к тому времени было уже достаточно «старым» и похожим на нынешнее) при случайном прохождении вблизи него некоторой звезды. Это прохождение было настолько близким, что практически его можно рассматривать как с т о л к н о в е н и е. При таком очень близком прохождении благодаря приливным силам, действовавшим со стороны налетевшей на Солнце звезды, из поверхностных слоев Солнца была выброшена струя газа. Эта струя останется в сфере притяжения Солнца и после того, как звезда уйдет от Солнца. В дальнейшем струя сконденсируется и даст начало планетам Солнечной системы.

Что можно сказать сейчас по поводу этой гипотезы, владевшей умами астрономов в течение трех десятилетий? Прежде всего, она предполагает, что образование планетных систем, подобных нашей Солнечной, есть процесс исключительно маловероятный. В самом деле, как уже подчеркивалось в гл. 1, столкновения звезд, а также их близкие взаимные прохождения в нашей Галактике могут происходить чрезвычайно редко. Поясним это конкретным расчетом.

Известно, что наше Солнце по отношению к ближайшим звездам движется со скоростью около 20 *км/сек*. Даже самая близкая к нам звезда — Проксима Центавра находится от нас на расстоянии 4,2 светового года. Чтобы преодолеть это расстояние, Солнце, двигаясь с указанной скоростью, должно потратить приблизительно 100 тыс. лет. Будем считать (что в данном случае правильно) движение Солнца прямолинейным. Тогда вероятность близкого прохождения (скажем, на расстоянии трех радиусов звезды) будет, очевидно, равна отношению телесного угла, под которым виден с Земли увеличенный в 3 раза диск звезды, к 4π. Можно убедиться, что данное отношение

составляет около 10^{-15}. Это означает, что за 5 млрд. лет своей жизни Солнце имело один шанс из десятков миллиардов столкнуться или очень сблизиться с какой-либо звездой. Так как в Галактике насчитывается всего около 150 млрд. звезд, то полное количество таких близких прохождений во всей нашей звездной системе должно быть порядка 10 за последние 5 млрд. лет, о чем уже речь шла в гл. 2.

Отсюда следует, что, если бы гипотеза Джинса была правильной, число планетных систем, образовавшихся в Галактике за 10 млрд. лет ее эволюции, можно было пересчитать буквально по пальцам. Так как это, по-видимому, не соответствует действительности и число планетных систем в Галактике достаточно велико (см. ниже), гипотеза Джинса оказывается несостоятельной.

Несостоятельность этой гипотезы следует также и из других соображений. Прежде всего, она страдает тем же фатальным недостатком, что и гипотеза Канта — Лапласа: гипотеза Джинса не в состоянии объяснить, почему подавляющая часть момента количества движения Солнечной системы сосредоточена в орбитальном движении планет. Математические расчеты, выполненные Н. Н. Парийским, показали, что при всех случаях в рамках гипотезы Джинса образуются планеты с очень маленькими орбитами. Еще раньше на эту классическую космогоническую трудность применительно к гипотезе Джинса указал американский астроном Рессел.

Наконец, ниоткуда не следует, что выброшенная из Солнца струя горячего газа может сконденсироваться в планеты. Наоборот, расчеты ряда известных астрофизиков, в частности, Лаймана Спитцера, показали, что вещество струи рассеется в окружающем пространстве и конденсации не будет. Таким образом, космогоническая гипотеза Джинса оказалась полностью несостоятельной. Это стало очевидным уже в конце тридцатых годов текущего столетия.

В послевоенные годы на смену этой гипотезе пришли совершенно другие представления. Наметилась тенденция возвращения к классической гипотезе Канта — Лапласа. Но если во времена создания этой гипотезы астрономы в сущности ничего не знали о природе звезд и туманностей, то сейчас положение совершенно другое. Благодаря выдающимся достижениям астрофизики накоплен огромный фактический материал о самых разнообразных космических объектах. Успехи физики открыли возможность понимания процессов, в них происходящих. Гипотеза Канта — Лапласа была чисто механической, так как в те времена только механика и связанная с ней математика были достаточно хорошо развиты. Современные космогонические гипотезы широко используют достижения различных областей физики, и в частности электродинамики. Мы увидим дальше, что последнее обстоятельство открывает возможность устранить классическую трудность с распределением момента количества движений между Солнцем и планетами.

10

Вращение звезд и планетная космогония

Прежде чем перейти к изложению современных гипотез о происхождении планетных систем, необходимо остановиться на важной характеристике звезд — их вращения вокруг своих осей. Еще в 1877 г. почти забытый сейчас английский астроном Эбни предложил совершенно правильную идею определения скорости вращения звезд путем спектрографических наблюдений. В самом деле, представим себе звезду, достаточно быстро вращающуюся вокруг оси, составляющей некоторый угол с лучом зрения. Тогда, очевидно, часть поверхности звезды будет двигаться от наблюдателя, часть — к наблюдателю. Вследствие эффекта Доплера все линии в спектре этой звезды будут расширены, так как этот спектр обусловлен излучением всей звезды в целом.

В те времена астроспектроскопия была еще в зачаточном состоянии, и блестящая идея Эбни не могла быть реализована. Положение осложнялось еще тем, что, как показали дальнейшие наблюдения, в спектре одной и той же звезды могут быть как узкие, так и широкие линии. Потребовалось несколько десятилетий, прежде чем астрономы смогли разобраться в многочисленных причинах, приводящих к расширению линий звездных спектров. Оказалось, что ряд явлений в атмосферах звезд (где образуются спектральные линии), не имеющих ничего общего с вращением звезды как целого, по-разному расширяют различные линии. В частности, линии, принадлежащие достаточно распространенным элементам, при соответствующих физических условиях в атмосферах звезд могут быть очень широкими независимо от вращения звезды.

Только в 1928 г. американский астроном О. Л. Струве и советский астроном Г. А. Шайн решили эту проблему. На рис. 32 приведены участки спектров трех горячих звезд: ι Геркулеса, η Большой Медведицы и звезды, обозначаемой как HR 2142. Три самые интенсивные линии в этих спектрах принадлежат водороду (крайняя левая) и гелию. Сравнение верхней и средней спектрограмм показывает, что в то время как водородная линия H_γ выглядит почти одина-

ково, гелиевые линии на средней спектрограмме заметно шире и не так контрастны, как на верхней. На нижней спектрограмме все линии очень широки и размыты, что делает их почти невидимыми. Истолкование этих спектров простое: на верхней спектрограмме составляющая скорости вращения по лучу зрения близка к нулю (т. е. звезда почти не вращается или же вращается вокруг оси, практически совпадающей с лучом зрения), между тем как средняя спектрограмма указывает на скорость вращения 210 *км/сек*. Так как ширина водородной линии (объясняемая разными причинами, ничего

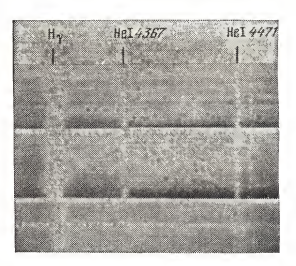


Рис. 32. Спектры трех горячих звезд, доказывающие их вращение.

общего с вращением звезды не имеющими) очень велика, то вращение звезды еще не оказывает на нее заметного влияния. Иное дело звезда, спектр которой приведен в нижней части рис. 32. Здесь скорость вращения настолько велика (450 *км/сек*), что все линии в спектре, в том числе и H_γ, оказываются сильно расширенными и «замытыми».

Подобным методом к настоящему времени исследовано вращение большого количества звезд. Анализ этого обширного наблюдательного материала показал, что скорости вращения звезд вокруг своих осей весьма неодинаковы. Мы видели, что, например, экваториальная скорость вращения Солнца вокруг своей оси всего лишь около 2 *км/сек*, в то время как скорости вращения некоторых звезд превосходят солнечную в 200 раз! Оказалось, что скорости вращения закономерно связаны со спектральным классом звезд. Быстрее всего вращаются массивные звезды классов O и B, практически не вращаются желтые и красные карлики. В табл. 2 приведены данные о скоростях вращения звезд различных спектральных классов.

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство: где-то вблизи спектрального класса F5 (температура поверхности звезд

ТАБЛИЦА 2 *)

Скорость вращения, *км/сек*	Процент звезд, скорость вращения которых находится в заданных пределах					
	Oe, Be	O, B	A	F0—F2	F5—F8	G, K, M
0—50	0	21	22	30	80	100
50—100	0	51	24	50	20	0
100—150	0	20	22	15	0	0
150—200	1	6	22	4	0	0
200—250	3	2	9	1	0	0
250—300	18	0	1	0	0	0
300—500	78	0	0	0	0	0

*) Во втором столбце обозначения Oe, Be относятся к горячим, массивным звездам, в спектрах которых имеются линии излучения.

этого класса около 6 тыс. °K) скорость вращения резко, почти скачком уменьшается. В то время как звезды более «ранних» спектральных классов вращаются с экваториальной скоростью, как правило, превышающей 100 *км/сек*, карлики спектральных классов G, K, M практически не вращаются. Последнее обстоятельство доказано самыми тщательными спектрографическими наблюдениями.

Возникает основной вопрос: почему такая характеристика звезд, как вращение, изменяется не плавно вдоль главной последовательности звезд, а скачком, вблизи спектрального класса F5? Ведь другие основные характеристики, как, например, спектральный класс, светимость, температура поверхности, меняются вдоль главной последовательности звезд непрерывно. Чтобы попытаться ответить на этот важный вопрос, рассмотрим следующий мысленный эксперимент. Что было бы, если бы все планеты Солнечной системы слились с Солнцем? Так как в изолированной системе момент количества движения должен сохраниться, а масса всех планет ничтожно мала по сравнению с массой Солнца, то Солнце с необходимостью должно было бы вращаться с экваториальной скоростью, в 50 раз большей, чем сейчас (так как его вращательный момент должен был бы увеличиться с 2 до 100% полного момента количества движения Солнечной системы). Следовательно, экваториальная скорость вращения Солнца стала бы близкой к 100 *км/сек*. Но это как раз нормальная скорость вращения звезд, более массивных и горячих, чем F5. Напрашивается важный вывод: по каким-то причинам скорость вращения Солнца, которая когда-то была довольно высокой, резко уменьшается (в 50 раз) благодаря тому, что основная часть момента количества движения была передана планетам.

Мы должны считать, что не горячие звезды аномально быстро вращаются, а наоборот, холодные карликовые звезды почему-то очень медленно вращаются. По аналогии с Солнцем мы можем сделать как бы напрашивающийся вывод: причина медленного вращения

звезд главной последовательности, начиная со спектрального класса F5 и более поздних,— наличие вокруг них планетных систем, по какой-то пока неизвестной причине «вобравших» в себя большую часть первоначального момента того сгустка вещества, из которого сформировались звезды и планеты.

Механизм передачи момента количества движения от звезды к планетам был предложен известным шведским физиком и астрономом Альвеном, который обратил внимание на то, что роль «передаточного ремня» может выполнять магнитное поле. Развитие идеи Альвена содержится в космогонической гипотезе английского астрофизика Хойла, выдвинутой в 1958 г.

Следуя классической традиции, Хойл считает, что планеты образовались из некоторой газово-пылевой туманности. В первоначальную эпоху плотность вещества в этой туманности была очень низка. Отдельные «куски» туманности двигались друг относительно друга с беспорядочными скоростями. Величина таких скоростей, как следует из наблюдений «диффузных» туманностей, около 1 *км/сек*.

По этой причине первичная туманность должна обладать некоторым моментом количества движения, причем он оказывается очень большим (главным образом из-за больших размеров туманности — порядка нескольких световых лет). Если бы в процессе конденсации момент количества движения сохранялся, то экваториальная скорость «новорожденной» звезды была бы почти равна скорости света. Поскольку, однако, это заведомо не так, необходимо допустить, что по крайней мере 99% момента количества движения было потеряно туманностью до того, как образовалась звезда. Такая «утечка» момента, согласно Хойлу, может быть обусловлена межзвездным магнитным полем. Так как силовые линии этого поля, «приклеенные» к конденсирующему облаку, уходят в бесконечность, то, как оказывается, вдоль них, как по гибким струнам, может «перекачиваться» момент от облака к окружающей его межзвездной среде. Однако такой процесс «перекачки» по причине, на которой мы не можем здесь останавливаться, может идти только до тех пор, пока плотность конденсирующегося облака не станет достаточно высокой. Начиная с этого времени эффективная передача момента от облака к окружающей среде прекратится.

Этот результат имеет большое значение, так как он не позволяет объяснять очень медленное вращение сравнительно холодных звезд (в том числе Солнца) передачей момента сжимающейся туманностью окружающей межзвездной среде. Как показывают расчеты, выполненные Хойлом, оставшийся момент, если бы он был сосредоточен только в сконденсировавшейся звезде, соответствовал бы экваториальной скорости вращения последней в несколько сот километров в секунду. Именно такие скорости вращения наблюдаются у сравнительно горячих звезд. Коль скоро более холодные звезды вращаются очень медленно, необходимо допустить, что они потеряли свой момент только после того, как первичная туманность сжалась до небольших размеров, например до размеров Солнечной системы.

Остается объяснить два факта:

а) почему звезды, спектральные классы которых более поздние, чем F5, потеряли почти весь свой вращательный момент?

б) почему это не произошло у более горячих звезд?

Чтобы ответить на эти вопросы, обратим внимание на то, что по мере сжатия туманность (мы можем теперь называть ее «протозвездой») будет вращаться вокруг своей оси все быстрее и быстрее. Можно показать, что при массе протозвезды, равной солнечной, и при радиусе, превышающем солнечный в 40 раз, центробежная сила на экваторе будет уравновешивать силу притяжения. Наступает состояние неустойчивости, и вещество отделяется от звезды, образуя экваториальный диск. Пока это еще соответствует схеме Лапласа.

Однако в формирующейся звезде можно ожидать наличия общего магнитного поля. Если силовые линии этого поля проходят через отделившийся диск (а в процессе отделения диска они не могли «порваться»), вращение оставшейся основной массы протозвезды будет закручивать их. В результате существования такой «магнитной» связи между отделившимся от протозвезды диском и ее основной массой из-за натяжения силовых линий вращение протозвезды будет тормозиться, а диск начнет удаляться от поверхности протозвезды, причем каждая его точка будет уходить наружу по спирали. С течением времени диск вследствие трения «размажется», и часть его вещества превратится в планеты, которые таким образом «унесут» с собой значительную долю момента.

Почему же такой процесс происходит у сравнительно холодных протозвезд, а у более горячих нет? Ответ на этот важный вопрос состоит в следующем. Масса отделившегося от протозвезды диска не очень велика, поэтому диск не может «намотать» на себя большое количество витков силовых линий магнитного поля. В противном случае упругость силовых линий разорвала бы его и дальнейший процесс «наматывания» прекратился. Единственное место, где могут находиться наматываемые витки силовых линий,— это внешние слои протозвезды. В процессе такого наматывания силовые линии должны погружаться в сравнительно глубокие слои протозвезды. Оказывается, что благоприятные условия для такого «погружения» силовых линий имеются только у сравнительно холодных звезд. Именно у таких звезд под поверхностью находится довольно толстый слой вещества, охваченный бурными, беспорядочными движениями вверх и вниз. Первопричиной образования таких слоев является то, что ввиду падения температуры по мере приближения к поверхности звезды водород, до этого ионизованный, становится нейтральным. Из-за этого нарушается тепловой режим, теряется механическая устойчивость и возникают конвективные потоки газа. При этих условиях магнитные силовые линии, как бы «приклеенные» к движущимся потокам газа, могут погружаться на значительные глубины под поверхностью протозвезды.

Если же протозвезда достаточно горяча, водород в ней ионизован вплоть до самых поверхностных слоев и «конвективной зоны» не

образуется. Поэтому силовые линии магнитного поля не могут уходить вглубь. Они будут наматываться только в самых поверхностных слоях, причем очень не долго. Довольно скоро вследствие малой плотности вещества в этих слоях упругость силовых линий приведет к сбрасыванию нового газового диска, в то время как старый еще не успеет получить сколько-нибудь значительного момента количества движения.

Таковы в общих чертах основные результаты космогонической гипотезы Хойла. Она довольно непринужденно объясняет резкость обрыва вращения звезд в районе спектрального класса F5. Эта резкость вызвана в конечном итоге сильной зависимостью ионизации атомов водорода от температуры. Уже у звезд класса F0, температуры поверхностей которых всего лишь на 2000° выше, чем у F5, конвективная зона начинается так близко от поверхности, что эффективное наматывание силовых линий почти исключается. Приходится только удивляться сложности взаимосвязей явлений, приводящих к такому «жизненно необходимому» для возникновения и развития жизни во Вселенной процессу, как образование планет...

Гипотеза Хойла, однако, имеет ряд противоречий. Например, нелегко представить, как мог «отсортироваться» избыточный водород и гелий в первоначальном газовом диске, из которого образовались планеты. Дело в том, что химический состав планет явно отличен от химического состава Солнца. Так как средние плотности Урана и Нептуна сравнительно велики (1,6 и 2,25 *г/см*³ соответственно) они, как можно убедиться, не могут состоять преимущественно из водорода и гелия (в отличие от Юпитера и Сатурна, которые в основном состоят из этих легких газов). Скорее всего Уран и Нептун состоят из воды, т. е. основным элементом у них является кислород. Если добавить к массам этих планет водород и гелий в тех же пропорциях, что и для солнечного вещества, то суммарная первоначальная масса всех планет Солнечной системы должна была быть по крайней мере в 10 раз больше современной, т. е. около 0,01 солнечной массы. Это уже приближается к массе невидимых спутников звезд, о которых речь шла в гл. 8. Возможно, что процесс, приводящий к образованию таких малых компонент двойных звезд, вполне подобен описанному. Разница может состоять в том, что в случае образования планет избыточный водород и гелий «отсортировались» в межзвездное пространство, а в случае невидимых спутников звезд этого не случилось. Все же не совсем ясно, каким образом легкие газы покинули Солнечную систему *).

В 1962 г. французский астрофизик Шацман обратил внимание на то, что наличие магнитных полей на звездах открывает возможность эффективной потери вращательного момента б е з о б р а з о в а н и я п л а н е т. Известно, что наше Солнце является источником потоков заряженных частиц — корпускул, выбрасыва-

*) Процесс так называемой диссипации (испарения), предлагаемый Хойлом, сталкивается со значительными трудностями, о которых здесь говорить мы не будем. О диссипации атмосфер планет см. гл. 11.

емых из его атмосферы. Отдельные сгустки горячего ионизованного газа как бы «выстреливаются» из областей, окружающих солнечные пятна, и движутся от Солнца со скоростями в несколько сот и даже тысяч километров в секунду. Так как ионизованное вещество таких сгустков является хорошим проводником электричества, то их движение должно происходить по силовым линиям солнечных магнитных полей. На больших расстояниях от солнечных пятен магнитные поля имеют почти радиальное направление. Двигаясь радиально вдоль силовых линий, сгустки могут уходить на значительные расстояния от поверхности Солнца, исчисляемые десятками его радиусов.

Теперь необходимо отметить, что силовые линии магнитного поля Солнца, концы которых уходят в его глубокие слои, вращаются вокруг оси с той же угловой скоростью, что и поверхностные слои. Наглядное представление об этом дает проволочный каркас, прикрепленный к вращающемуся шару. Отсюда следует, что выброшенный из Солнца сгусток по мере его движения вдоль силовых линий наружу будет непрерывно увеличивать свой вращательный момент. Если в конце концов он «сорвется» с силовых линий солнечного магнитного поля (которое на больших расстояниях уже значительно ослабеет и не сможет больше определять движение сгустка), то унесет с собой довольно значительный момент.

Представим, например, что такие «срывы» происходят на расстоянии 30 радиусов Солнца от его центра. Тогда, чтобы потерять почти весь свой вращательный момент, Солнце должно выбросить приблизительно 0,001 часть своей массы *). Такая сравнительно малая потеря массы за миллиарды лет эволюции вполне возможна. Следует, правда, заметить, что в настоящее время эффективное торможение Солнца этим способом не происходит — его «корпускулярное излучение» слишком мало. Но в прошлом это могло быть и не так... Можно представить, что такой механизм потери вращательного момента действует на всех (или почти всех) звездах, где имеются связанные с активными областями на их поверхностях магнитные поля. Так как такие образования обусловлены наличием у звезд «конвективных зон», то открывается возможность понять, почему наблюдается резкий «обрыв» вращения около спектрального класса F5.

Работа Шацмана имела целью объяснить медленное вращение звезд поздних спектральных классов. Су Шу-хуанг в 1965 г. применил механизм Шацмана для объяснения аномального распределения вращательного момента в Солнечной системе. Он полагает, что основная часть вращательного момента была потеряна Солнцем при помощи этого механизма на ранней фазе эволюции, когда наше светило было протозвездой. Основанием для этого предположения является наблюдаемая очень высокая «вспышечная» активность у звезд типа Т Тельца, являющихся, как уже говорилось выше, п р о т о з в е з д а м и. По аналогии с Солнцем можно сделать вывод, что

*) Так как момент количества движения сгустка в таких условиях пропорционален квадрату его расстояния от центра Солнца.

у протозвезд имеются мощные активные области, откуда выбрасывается намагниченная плазма. Из наблюдений также как будто следует, что часть звезд типа Т Тельца вращается быстро, а часть — медленно. Отсюда можно сделать вывод, что именно на этой стадии эволюции происходит торможение осевого вращения звезд. Из теории эволюции протозвезд, развитой японским астрономом Хаяши, следует также, что бурными конвективными движениями, являющимися первопричиной вспышечной активности, охвачены только протозвезды с массой меньше чем 1,5 массы Солнца.

Су Шу-хуанг полагает, что молодые протозвезды окружены более или менее сфероидальной газово-пылевой оболочкой — остатком того диффузного материала, из которого сконденсировалась протозвезда. Выброшенные из активных областей протозвезды потоки заряженных частиц будут «поглощаться» оболочкой, передавая ей при этом унесенный от протозвезды вращательный момент. Таким образом, практически весь вращательный момент звезды будет передан окружающей ее оболочке. По мере столкновений отдельных сгустков газа в этой оболочке, кинетическая энергия, связанная с их хаотическими движениями, будет переходить в излучение, которое уйдет в мировое пространство. Останется только кинетическая энергия, связанная с регулярным вращением оболочки вокруг звезды. В процессе такой эволюции оболочка превратится в сильно уплощенный диск, из которого и будут конденсироваться планеты.

Су Шу-хуанг полагает также, что такой характер эволюции сравнительно мало массивных звезд является универсальным. Это, в частности, означает, что если не у всех, то у существенной части протозвезд имеются окружающие их газово-пылевые оболочки.

Имеется достаточно большое количество наблюдательных фактов, подтверждающих это утверждение. Прежде всего, газово-пылевые оболочки, окружающие протозвезды, могут быть обнаружены по их инфракрасному излучению. Действительно, некоторые такие звезды обнаруживают избытки инфракрасного излучения. Кроме того, у молодых звездных скоплений отдельные звезды также имеют значительный инфракрасный избыток. Известно также довольно значительное количество инфракрасных звезд с эмиссионными линиями. Такие линии могут возникать при выбрасывании сгустков плазмы из протозвезды. В молодых скоплениях имеются звезды, чья светимость значительно ниже ожидаемой для соответствующего места главной последовательности. Такой недостаток светимости можно объяснить наличием вокруг этих звезд газово-пылевых оболочек. По-видимому, большинство молодых звезд класса F, еще не «севших» на главную последовательность, окружено газово-пылевыми оболочками.

Таким образом, имеется немало наблюдательных фактов, говорящих о том, что молодые звезды (вернее, протозвезды) окружены газово-пылевыми оболочками. Вопрос в том, какова форма этих оболочек, т. е. являются ли они сферическими или сплюснутыми, дискообразными? В отдельных случаях, когда протозвезды входят в состав затменных двойных систем, можно было наблюдать, что

эти оболочки имеют дискообразную форму. Однако не ясно, является ли такая форма оболочки следствием ее эволюции описанным выше образом, или это следствие двойственности системы.

Переход от «сферической» к «дисковой» структуре околозвездной оболочки при некоторых условиях может произойти очень быстро, всего лишь за несколько лет. Что может увидеть сторонний наблюдатель во время такого перехода? Если этот наблюдатель не находится в плоскости симметрии диска, он увидит внезапное сильное увеличение яркости протозвезды. Это объясняется тем, что пыль оболочки уже не будет экранировать излучение звезды со всех сторон, а только в направлениях, близких к плоскости диска. Было высказано предположение, что знаменитая звезда FU Ориона, которая в 1936—1937 годах превратилась из невидимой невооруженным глазом звездочки 8-й величины в яркую звезду 2-й величины, увеличила свою яркость именно по этой причине.

Не исключено, что во многом еще загадочные странные полузвезды, полутуманности, так называемые «объекты Хербига — Харо», а также «кометарные туманности», тесно связанные с протозвездами, имеют отношение к газово-пылевым оболочкам. Тем более интересно, что довольно часто они обнаруживают удивительную переменность блеска. Таким образом, хотя астрономические методы наблюдения планетных систем даже у ближайших к нам звезд находятся на пределе возможности (см. гл. 8), протопланетные оболочки вокруг протозвезд, возможно, уже наблюдаются. Оптический эффект таких оболочек несравненно сильнее, чем от планет. Чтобы это почувствовать, рассмотрим такой воображаемый, но вполне соответствующий действительности пример. Наша планета Земля состоит, как известно, преимущественно из тяжелых элементов — кислорода, железа, кремния, углерода и пр. Представим себе теперь, что вещество Земли рассеяно вокруг Солнца в виде пылинок с характерными для межзвездной среды размерами в несколько десятых микрона. Было же когда-то такое состояние нашей планетной системы! Оказывается, что даже если бы размеры такого окружающего Солнце облака, состоящего из распыленной Земли, были бы в сотни раз больше нынешнего расстояния от Земли до Солнца, оно полностью поглощало бы солнечное излучение, перерабатывая его в инфракрасное. Посторонний наблюдатель смог бы зарегистрировать очень холодную глобулу, излучающую в далеком инфракрасном диапазоне волн с длиной ~ 100 микрон.

Как же из уплощенного газово-пылевого диска, окружающего протозвезду, образовались планеты и их спутники? Это, конечно, был весьма сложный процесс, который с трудом поддается изучению. Количественный анализ этой проблемы только начинается. Сейчас мы приведем один из вариантов такого анализа.

В 1972 г. Хойл опубликовал интересную работу, содержащую дальнейшее развитие его космогонической теории. Некоторые выводы, следующие из этой теории, довольно неожиданны и даже парадоксальны. Они подчас идут в разрез со ставшими привычными

взглядами. Но в такой сложной проблеме, как происхождение планетной системы время от времени бывает очень полезно пересмотреть так называемые «привычные» взгляды и отойти от давно установившейся рутины. Поэтому парадоксальные выводы Хойла, на наш взгляд, заслуживают самого серьезного внимания.

Хойл полагает, что первоначальная масса того материала, из которого образовались планеты, составляла $\sim 1\%$ массы Солнца (см. выше) и была выброшена из него в эпоху, когда «первобытное» Солнце было близко к потере вращательной устойчивости.

В протопланетном облаке должен начаться бурный процесс конденсации вещества как в форме твердых частиц, так и в форме жидких капелек. Там, где температура облака упадет до 1500°, начнут образовываться частички железа и некоторых тугоплавких окисей металлов (MgO, CaO), а также SiO_2. Это происходило на расстоянии около $2 \cdot 10^{13}$ *см*, т. е. на расстоянии современной Земли от Солнца. Сталкиваясь между собой, эти частицы слипались, образуя агрегаты бо́льших размеров. Достигнув значительных размеров (по оценке Хойла — нескольких метров) они как бы «отделялись» от породившего их газа и переставали участвовать в его обусловленном магнитным полем движении от центральных частей туманности к периферии. Такие «куски» твердого вещества описывали «самостоятельные», почти круговые орбиты вокруг «протосолнца», оставаясь на постоянном расстоянии от него. Полная масса этих кусков в несколько раз превосходила массу современной Земли, между тем как масса протопланетного облака, как говорилось выше, в 3000 раз превышала земную. Из этих-то кусков, путем их слияния и образовалась Земля и другие планеты земной группы.

Совершенно другие процессы конденсации происходили на периферии протопланетного облака. На расстоянии около 30 астрономических единиц от Солнца температура была, примерно, 350° шкалы Кельвина. Эта температура довольно близка к температуре конденсации паров воды, что естественно объясняет «водяную» природу Урана и Нептуна, которые образовались путем слипания частиц льда и снега.

Так как основная часть протопланетного облака — легкие газы водород и гелий — улетучивались в межзвездное пространство с периферии облака, т. е. за пределами орбиты нынешнего Нептуна, в средней части облака довольно долго содержание этих легких элементов было значительным. Можно полагать, что конденсация этой основной части облака, химический состав которого был почти такой же, как у Солнца, привела к образованию планет-гигантов — Юпитера и Сатурна. Следует, однако, заметить, что в этом важном пункте пока еще нет ясности. Хойл не исключает возможность того, что планеты-гиганты образовались п о з ж е Урана и Нептуна, а также планет земной группы. К этому времени радиус протосолнца стал значительно меньше, всего лишь в 3—4 раза больше современного значения. Сжавшееся Солнце снова могло оказаться в состоянии вращательной неустойчивости и тем же «магнитным» механизмом

выбросить новую порцию газа. Любопытно, что при меньших размерах Солнца температура на данном расстоянии от него должна быть меньше. Следовательно, тугоплавкие частицы смогут образовываться сравнительно близко от Солнца. Таким образом, нельзя исключить возможность того, что планеты земной группы образовывались по крайней мере в два приема: сперва, когда размеры Солнца были велики, образовались прото-Марс и прото-Земля, а при следующем цикле вращательной неустойчивости, когда размеры Солнца стали меньше, образовались прото-Венера и прото-Меркурий. Эта интересная и смелая идея Хойла требует дальнейшего критического анализа.

Для нас, конечно, особый интерес представляет происхождение Земли. В этом случае идеи Хойла особенно интересны и парадоксальны. Он полагает, что в медленно остывающем газе на данном расстоянии от Солнца (вызванном постепенным уменьшением его светимости в процессе эволюции) образуются химически чистые твердые частицы, причем более тугоплавкие образуются раньше. При достаточно медленном процессе остывания конденсация одного вещества заканчивается, когда еще не началась конденсация следующего. При температуре около 1500° будут образовываться независимо частицы химически чистого железа и частицы окислов MgO и SiO_2. Благодаря тому, что частицы железа хорошо слипаются, через некоторое время на нынешней орбите Земли вокруг Солнца двигались агрегаты химически чистого железа размером в несколько километров. Картина, что и говорить, удивительная... Сливаясь, эти агрегаты в конце концов образовали ядро нынешней Земли. То, из чего впоследствии образовались мантия и кора нашей планеты «налипло» на железное ядро позже.

Этот вывод Хойла, конечно, является «еретическим». Геофизики всегда считали и считают, что материал, из которого образовалась первобытная Земля, представлял собой более или менее однородную смесь железа, силикатов и прочих соединений. И только в дальнейшем, в процессе длительной «пре-геологической» эволюции наступила наблюдаемая сейчас стратификация, разделение слоев Земли. Конечно, сейчас нельзя сказать, какая точка зрения правильная — «ортодоксальная» или «еретическая». Но интересная возможность, предполагаемая Хойлом, заслуживает внимания.

Согласно общепринятой в настоящее время точке зрения, океан и атмосфера Земли образовались путем «выпаривания» воды и других газов из твердого, горячего вещества первобытной Земли. И в этом важнейшем пункте Хойл резко порывает с традицией. Он вообще считает, что прото-Земля образовалась без испаряющихся веществ (т. е. водяных паров, газов). Некоторая их часть могла быть захвачена прото-Землей уже потом, из окружающей, все еще плотной, газовой среды. Скорее всего таким образом можно объяснить происхождение благородных газов (Ne, Kr, Xe) в малых количествах присутствующих в современной атмосфере Земли. Но ясно, что таким способом нельзя объяснить наличие на Земле

других газов, ибо этому противоречит резко отличное от солнечного обилие этих элементов на Земле по отношению к азоту и углероду.

Хойл обращает внимание на то, что когда Земля уже почти сформировалась и ее масса достигла современного значения, она в некоторых случаях стала оказывать сильное гравитационное возмущение на пролетающие мимо частицы, сообщая им значительные скорости и тем самым как бы «отбрасывая» их в область больших планет. Формировавшиеся Уран и Нептун таким же образом «выталкивали» глыбы льда в область земных планет. Если размеры этих глыб превышают несколько метров они не успеют испариться. Эти глыбы льда в некоторых случаях падали на поверхность прото-Земли, что в конце концов, привело к образованию мирового океана.

Итак, Хойл не исключает возможность того, что мировой океан образовался в результате своеобразного «дождя» из ледяных и снежных глыб, образовавшихся в области Урана и Нептуна... Простой расчет, выполненный Хойлом, показывает, что, в принципе, такое происхождение мирового океана вполне возможно. Для этого потребуется всего лишь несколько миллионов лет.

Эта гипотеза может также объяснить происхождение атмосферы Венеры, столь непохожей на земную. Можно считать, что на Венеру падали глыбы сухого льда CO_2. Наконец, и Хойл это особенно подчеркивает, таким же образом (т. е. в виде своеобразного «дождя») на прото-Землю могли падать органические вещества, необходимые для возникновения жизни (CH_4, NH_3 и, особенно, HCN).

Предстоит еще много работы физикам и астрономам, для того чтобы старая проблема происхождения планетных систем была окончательно решена. Но просвет уже виден, и некоторые контуры будущей стройной теории уже намечаются. Особенно большие надежды автор этой книги возлагает на детальные исследования «космических мазеров» (см. гл. 4). Так как эти «мазеры» скорее всего связаны с протозвездами, а планеты и протозвезды образуются совместно, такие исследования могут дать также информацию и о протопланетах. Уже сейчас отдельные авторы высказывают гипотезу, что источниками мазерного излучения на волнах 18 и 1,35 *см* могут быть не протозвезды, а находящиеся около них протопланеты. Такой точки зрения, например, придерживаются молодые советские астрономы В. С. Стрельницкий и Р. А. Сюняев. Основанием для такой смелой гипотезы является возможный «дефицит» водорода у этих источников. Похоже, что химический состав их скорее напоминает планетный, чем звездный. Эти предварительные результаты, конечно, нуждаются в самой серьезной проверке.

В заключение необходимо подчеркнуть, что из идей Су Шу-хуанга следует, что существенная часть всех звезд, спектральные классы которых более поздние, чем F5, должна обладать планетными системами. Хотя этот важнейший для нашей книги вывод пока нельзя считать доказанным, он представляется вполне вероятным.

Часть вторая

ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

На далекой звезде Венере
Солнце пламенней и золотистей,
На Венере, ах, на Венере
У деревьев синие листья...

Н. Гумилев

11

Условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах

Для эволюции живых организмов от простейших форм (вирусы, бактерии) к разумным существам необходимы огромные интервалы времени, так как «движущей силой» такой эволюции являются мутации и естественный отбор — процессы, носящие случайный, статистический характер. Именно через большое количество случайных процессов реализуется закономерное развитие от низших форм жизни к высшим. На примере нашей планеты Земли мы знаем, что этот интервал времени, по-видимому, превосходит миллиард лет. Поэтому только на планетах, обращающихся вокруг достаточно старых звезд, мы можем ожидать присутствия высокоорганизованных живых существ. Отсюда сразу же следует естественный вывод, что высокоорганизованная (в частности, разумная) жизнь может быть только на планетах, обращающихся вокруг звезд, спектральный класс которых более «поздний», чем F0 (см. табл. 1). С другой стороны, аргументы, основанные на анализе особенностей вращения звезд вокруг своих осей, говорят о том, что только у звезд более «поздних» классов, чем F5, можно ожидать планетных систем. Здесь мы еще раз должны подчеркнуть, что при современном состоянии астрономии можно говорить только об аргументах в пользу гипотезы о множественности планетных систем. Строгим доказательством этого важнейшего утверждения астрономия пока не располагает.

С этой существенной оговоркой мы будем в дальнейшем считать, что практически все звезды главной последовательности, спектральные классы которых более «поздние», чем F5, имеют планетные системы.

С другой стороны, имеются основания полагать, что у звезд «первого поколения» (субкарликов) планет типа Земли быть не может, так как среда, из которой они образовались, была весьма бедна тяжелыми элементами. На это обстоятельство обратил внимание Э. А. Дибай.

Для возникновения и развития жизни на планете необходимо, чтобы выполнялся ряд условий весьма общего характера. Совер-

шенно очевидно, что далеко не на всякой планете может возникнуть жизнь. Хорошим примером является Луна, практически лишенная атмосферы и полностью лишенная водной оболочки — гидросферы. Конечно, при таких условиях говорить о какой бы то ни было жизни на Луне не приходится.

Жизнедеятельность любого организма есть прежде всего совокупность различных химических процессов. Жизнь может возникнуть только тогда, когда на планете уже имеются сложные молекулярные соединения. Само образование таких соединений, химические реакции между ними, в конечном итоге давшие начало живому веществу, и жизнедеятельность образовавшихся на планете организмов требуют, в частности, подходящих температурных условий. Слишком высокие и слишком низкие температуры исключают возможность возникновения и развития жизни. В равной степени губительны для возникновения и развития жизни очень резкие колебания температуры.

Мы можем представить себе вокруг каждой звезды, имеющей планетную систему, область или зону, где температурные условия на планетах *не исключают* возникновения и развития жизни. Ясно, что в достаточной близости от звезды температуры планет будут слишком высокими для возникновения жизни. Хорошей иллюстрацией сказанному является Меркурий, температура обращенной к Солнцу части которого выше температуры плавления свинца. На достаточно большом удалении от звезды температура планет будет слишком низкой. Нелегко себе представить, например, жизнь на Уране и Нептуне, температура поверхностей которых — 200 °С. Нельзя, однако, недооценивать огромную приспособляемость («адаптацию») живых организмов к неблагоприятным условиям внешней среды. Следует еще заметить, что для жизнедеятельности организмов значительно «опаснее» очень высокие температуры, чем низкие, так как простейшие виды вирусов и бактерий могут, как известно, находиться в состоянии анабиоза при температуре, близкой к абсолютному нулю.

Температура планеты определяется прежде всего количеством излучения от звезды, падающим на единицу площади ее поверхности за единицу времени. По этой причине размеры «зон обитаемости» для разных звезд различны. Они тем больше, чем выше светимость звезды, т. е. чем более «ранним» является ее спектральный класс.

У красных карликов спектрального класса М, а также поздних подклассов К внешний радиус «зоны обитаемости» становится очень маленьким, меньше, например, радиуса орбиты «нашего» Меркурия. Поэтому вероятность того, что хотя бы одна из планет, обращающихся вокруг таких карликовых красных звезд, находится в пределах «зоны обитаемости», как можно думать, невелика. Следует, однако, заметить, что планетные системы, окружающие звезды, могут по своим характеристикам значительно отличаться от единственной планетной системы, которую мы пока знаем,— нашей

Солнечной системы. В частности, не исключено, что вокруг красных карликовых звезд планеты могут обращаться по сравнительно небольшим орбитам.

Если предположить, что планеты, на которых возможна жизнь, имеются только у звезд главной последовательности, спектральные классы которых более «поздние», чем F5, и более «ранние», чем K5, то окажется, что лишь 1—2% всех звезд, в Галактике могут быть «обитаемы». Учитывая, что число всех звезд в нашей звездной системе около 150 млрд., мы приходим к довольно «утешительному» выводу: по крайней мере у миллиарда звезд нашей Галактики могут быть планетные системы, на которых в принципе возможна жизнь.

Нужно, впрочем, считаться с еще одним обстоятельством. Как известно, около половины всех звезд входит в состав кратных систем. Представим себе планету в системе двойной звезды. Вообще говоря, ее орбита будет довольно сложной незамкнутой кривой. Вычисление характеристик такой орбиты представляет достаточно трудную математическую задачу. Это так называемая «ограниченная» задача трех тел. По сравнению с общей задачей о движении трех тел, взаимно притягивающихся по закону Ньютона, «ограниченная» задача проще, так как масса планеты ничтожна по сравнению со звездами и не оказывает влияния на движение звезд.

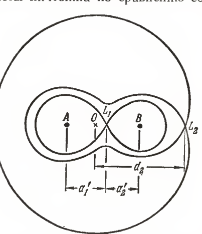


Рис. 33. Область «благоприятных» планетных орбит в двойной системе.

Двигаясь по своей сложной орбите, планета временами может приближаться к одной из звезд на небольшие расстояния, а временами удаляться от звезд очень далеко. В соответствии с этим температура поверхности планеты будет меняться в недопустимых для возникновения и развития жизни пределах. Поэтому до недавнего времени общепринятым было мнение, что около кратных звезд не могут быть обитаемые планеты. Но лет 20 назад Су Шу-хуанг пересмотрел этот вопрос и показал, что в отдельных случаях может быть такое движение планет по периодическим орбитам, при котором температура их поверхностей меняется в допустимых для развития жизни пределах. Для этого нужно, чтобы относительные орбиты звезд были близки к круговым. На рис. 33 приведены сечения плоскостью некоторых «критических поверхностей» в ограниченной задаче трех тел. Периодические орбиты планет, допускающие развитие жизни, лежат либо внутри поверхности, проходящей через L_1, либо снаружи поверхности, проходящей через L_2. Если массы обеих звезд

одинаковы, то внутри поверхности, проходящей через L_1, орбиты, подходящие для развития жизни, будут существовать при условии, что расстояние между звездами $a > 2l^{1/2}$ (a выражено в астрономических единицах), где l — светимость каждой из звезд (в едницах светимости Солнца). Когда a станет больше 13 $l^{1/2}$, каждую из компонент двойной системы можно рассматривать для интересующей нас задачи как одиночную звезду.

Заметим, что у многих двойных систем расстояние между компонентами превосходит это «критическое» значение. Следовательно, в принципе вокруг достаточно удаленных друг от друга компонент двойной системы, движущихся по почти круговой орбите, возможно наличие обитаемых планет. В случае, когда компоненты двойной системы достаточно близки друг к другу, подходящие периодические орбиты могут быть вне поверхности, проходящей через L_2 (рис. 33). Как показывают вычисления Су Шу-хуанга, при равных массах компонент двойной системы орбиты, подходящие для возникновения и развития жизни, могут быть при условии, что $a < 0{,}4\ l^{1/2}$ Таким образом, в области значений $2l^{1/2} > a > 0{,}4l^{1/2}$ исключается возможность существования обитаемых планет.

Аналогичные результаты можно получить путем вычисления и для более общего случая, когда массы компонент двойной системы не равны. Таким образом, мы должны сделать вывод, что и в кратных звездных системах могут быть планеты, температурные условия на которых не исключают возможности возникновения и развития жизни. Следует, однако, отметить, что вероятность существования таких планет около одиночных звезд значительно выше. Впрочем, возможно, что образование кратных звезд и планет суть процессы, взаимно исключающие друг друга.

Для оценки количества звезд в Галактике, вокруг которых, как можно полагать, обращаются обитаемые планеты, учет кратных звезд не имеет, конечно, серьезного значения, так как мы можем грубо оценить только порядок этой величины. При таких расчетах коэффициент 1,5—2 не играет роли. Другое дело, когда речь идет о вероятности существования обитаемых планет в какой-нибудь совершенно определенной кратной системе, по тем или иным причинам представляющей для нас интерес. Например, одна из ближайших звезд — α Центавра — кратная система. Естественно, что вопрос о возможном наличии в этой системе обитаемых планет представляет для нас особый интерес.

α Центавра является тройной системой. Относительная орбита двух наиболее массивных компонент этой системы — эллипс с большой полуосью, равной 23,4 астрономической единицы, и с довольно значительным эксцентриситетом: 0,52. Таким образом, расстояние между двумя главными компонентами достаточно велико, чтобы вокруг каждой из них могли существовать подходящие планетные периодические орбиты (см. выше). Однако большая величина эксцентриситета звездных орбит требует для этого случая специального рассмотрения (напомним, что приведенные результаты вычис-

лений Су Шу-хуанга относятся к случаю круговых орбит компонент двойной системы). Нужно, впрочем, заметить, что система α Центавра, по-видимому, сравнительно молодая. Входящие в нее звезды, возможно, еще не «сели» на главную последовательность. Поэтому маловероятно, что там могут быть планеты даже с примитивными формами жизни.

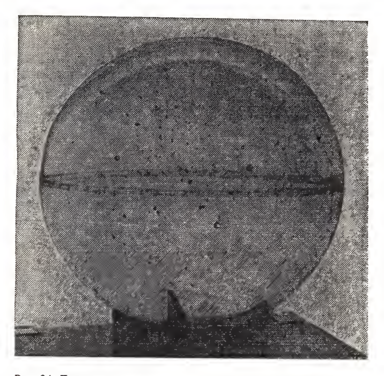


Рис. 34. Пространственное распределение ближайших к Солнцу звезд.

На рис. 34 приведена фотография пространственной модели ближайших окрестностей Солнечной системы. В соответствующем масштабе изображена сфера радиусом в 5 *пс* (16,3 светового года), причем Солнце находится в ее центре. Каждый темный шарик этой сферы представляет собой звезду. Относительное пространственное расположение звезд соответствует действительному. Сфера выполнена из плексигласа и имеет диаметр около 130 *см*, так что в этом масштабе один световой год равен 4 *см*. Размеры шариков, сделанных из дерева, приблизительно соответствуют светимостям соответствующих звезд. Всего внутри этой сферы находятся 53 звезды (считая звезды, входящие в состав кратных систем). Справа внизу от Солнца находится самая яркая звезда на небе — Сириус. Рядом с ним виден его крохотный спутник — белый карлик. Справа вверху от Солнца

видна другая яркая звезда — Процион. У нее спутник — также белый карлик. Яркая звезда слева от центра — Альтаир. Все эти звезды имеют спектральные классы, более ранние, чем F5. Поэтому, согласно нашей основной гипотезе, вокруг них нельзя ожидать обитаемых планетных систем. Большинство звезд внутри этой сферы — красные карлики низкой светимости. Не считая нашего Солнца, только три звезды из 53 удовлетворяют сформулированным условиям (т. е. они имеют спектральные классы между F5 и K5 и являются одиночными). Это — ε Эридана, τ Кита и ε Индейца.

Проведенный сейчас анализ модели, изображенной на рис. 34, наглядно демонстрирует, что только несколько процентов звезд могут иметь (но, конечно, не обязательно должны иметь) обитаемые планеты. Следует, однако, еще раз почеркнуть, что в настоящее время мы не можем исключить красные карликовые звезды (которые составляют подавляющее большинство всех звезд) из числа возможных очагов жизни во Вселенной (см. выше).

Как уже подчеркивалось, для развития жизни на какой-нибудь планете необходимо, чтобы температура последней находилась в определенных допустимых пределах. Этим требованием определяются размеры и само наличие «зон обитаемости». Кроме того, необходимо, чтобы излучение звезды на протяжении многих сот миллионов и даже миллиардов лет оставалось приблизительно постоянным. Например, обширный класс переменных звезд, светимости которых сильно меняются со временем (часто периодически), должен быть исключен из рассмотрения.

Однако подавляющее большинство звезд главной последовательности излучает с удивительным постоянством. Например, согласно геологическим данным, светимость нашего Солнца за последние несколько миллиардов лет оставалась постоянной с точностью до нескольких десятков процентов. По-видимому, такое постоянство светимости есть общее свойство большинства звезд главной последовательности. Таким образом, важное условие постоянства светимости звезды — центра планетной системы — почти во всех случаях удовлетворяется.

Мы довольно подробно рассмотрели температурные условия, при которых возможно возникновение и развитие жизни на той или иной планете, но эти условия, конечно, не единственные. Очень важное значение для рассматриваемой нами проблемы имеют масса образовавшейся каким-либо способом планеты и химический состав ее атмосферы. По-видимому, эти две первоначальные характеристики планеты не являются независимыми. Рассмотрим сперва случай, когда масса образовавшейся планеты невелика. Молекулы и атомы в верхних слоях атмосферы, где ее плотность низка, двигаются с различными скоростями. Часть из них имеет скорость, превышающую «вторую космическую скорость» (астрономы называют эту скорость «параболической»), и будет беспрепятственно уходить за пределы планеты. Этот процесс, до некоторой степени напоминающий испарение, называется «диссипацией». Очевидно, эффективная дисси-

пация может происходить там, где плотность атмосферы настолько низка, что «ускользающие» атомы уже не испытывают столкновений с другими атомами. Если бы такие столкновения имели место, то они могли бы изменить величину и направление скорости ускользающих атомов, что препятствовало бы диссипации.

Диссипация планетных атмосфер происходит непрерывно, так как всегда найдется некоторое количество молекул (атомов), которые при данной температуре атмосферы имеют скорости, направленные «вверх» и превосходящие параболическую. Однако для разных газов доля диссипирующих частиц будет различной. Больше всего она для легких газов — водорода и гелия. Само собой разумеется, что количество диссипирующих частиц зависит, и притом очень чувствительно, от температуры атмосферы на тех высотах, где происходит диссипация.

Математическая теория диссипации планетных атмосфер впервые была развита в начале этого века английским астрономом Джинсом (автором известной космогонической гипотезы, см. гл. 9). В дальнейшем она была усовершенствована трудами ряда ученых, в частности, американским астрофизиком Лайманом Спитцером и автором этой книги. Количество атомов, ускользающих из атмосферы за 1 *сек*, дается следующей формулой:

$$L=\frac{4\pi R_0^2}{\sqrt{6\pi}}\sqrt{\frac{3kT}{m}}\,\frac{GmM}{kTR_0}\,e^{\frac{-GmM}{kTR_0}}\,n_c,$$

где R_0 — радиус планеты, $G=6{,}7\cdot10^{-8}$ — известная постоянная в законе всемирного тяготения, T — температура атмосферы на уровне, где диссипация становится существенной, m — масса атома, M — масса планеты, $e = 2{,}718...$ — основание натуральных логарифмов, k — постоянная Больцмана, n_c — плотность на уровне убегания.

Из этой формулы следует, что весь водород, находящийся в настоящее время в земной атмосфере, должен «ускользнуть» в межпланетное пространство за очень малое время — порядка нескольких лет *). Если бы не постоянное поступление водорода в атмосферу, главным образом из-за испарения мирового океана, водорода в атмосфере нашей планеты не было бы совсем.

Из формулы видно, что скорость диссипации сильно зависит от массы планеты. Это и понятно. Ведь при малой массе параболическая скорость будет невелика, поэтому значительная часть атомов и молекул будет иметь скорость, превышающую параболическую. Например, у Луны, масса которой в 81 раз меньше земной, а радиус близок к 1700 *км*, параболическая скорость составляет всего лишь 2,4 *км/сек*. Поэтому даже сравнительно тяжелые газы Луна на протяжении своей «космической» истории удержать не могла. Это

*) При этом учитывается, что температура земной атмосферы на высоте уровня диссипации (~500 *км*) около 1500 °К.

объясияет отсутствие атмосферы иа иашем спутиике. По-видимому, и Меркурий лишеи сколько-иибудь плотиой атмосферы. Впрочем, недавно иекоторые исследователи обнаружили иа этой плаиете следы разреженией атмосферы.

Таким образом, чтобы иа плаиете могла возникнуть и развиваться жизнь, ее масса ие должиа быть слишком малеиькой. С другой стороны, слишком большая масса плаиеты также является неблагоприятиым фактором. Планеты, массы которых достаточно велики (иапример, близки к массам плаиет-гигаитов Юпитера и Сатурна), полиостью удерживают свою первоначальиую атмосферу. Эта «первобытная» атмосфера должна быть очень богата водородом, так как первоиачальная среда, из которой образовались планеты, имела примерио тот же химический состав, что и звезды, которые в основиом состоят из водорода и гелия. Если планета сохраиила «первоначальиый» состав среды, из которой оиа образовалась, ее водородногелиевая атмосфера должна быть очень плотной. В таких условиях весьма проблематичиа сама возможиость образования твердой поверхиости плаиеты. Юпитер и Сатурн, а возможио также Ураи и Нептуи, представляют собой газовые шары с быстро растущей к центру плотиостью. Мы уже подчеркивали в гл. 8, что если бы массы планет были в 5—10 раз больше, чем у Юпитера, оии уже принципиальио ие отличались бы от карликовых звезд. Ряд авторов (например, академик В. Г. Фесеиков) считают, что при большом обилии водорода образовавшиеся иа его осиове химические соединения: аммиак, метаи и другие — исключают возможиость образования живой субстанции, так как это довольно ядовитые газы. Впрочем, такое утверждение ие является бесспориым, и в настоящее время возможиость существования примитивиых форм жизни иа больших плаиетах Солиечной системы иельзя полностью исключать (см. гл. 16). Так или иначе, для того чтобы на плаиетах могла возникнуть и развиваться жизиь, их массы должиы быть ограничены как сверху, так и снизу. По-видимому, иижияя граница возможной массы такой плаиеты близка к нескольким сотым массы Земли, а верхняя в десятки раз превосходит земную. Как видим, пределы возможных масс плаиет, пригодных для жизни, достаточно широки.

Те вопросы, которые мы сейчас затроиули, тесио переплетаются с осиовиыми проблемами плаиетной космогонии и прежде всего с пониманием са́мого раииего периода Земли и планет. Мы уже подчеркивали в гл. 10, что пока состояиие планетной космогонии таково, что еще не существует определенных ответов иа все возникающие важные вопросы. Можно высказать только иесколько замечаний самого общего характера. Нельзя считать, что первоначальный сгусток материи, удерживаемый силой взаимного тяготения составляющих его атомов и молекул, из которого впоследствии образовалась Земля, имел химический состав такой же, как Солице и звезды, т. е. был так же богат водородом и гелием. Можно показать, что иикакая диссипация ие в состоянии «отсортировать» из такого сгустка водород и гелий. Коль скоро это так, мы должиы сделать вывод, что

Земля, так же как и другие «внутренние» планеты, образовалась из вещества, бедного водородом и гелием. Таким веществом могли быть пылинки и молекулярные агрегаты, образовавшиеся в первоначальной туманности. Вместе с тем на сравнительно больших расстояниях от Солнца условия были благоприятны для образования довольно массивных водородно-гелиевых конденсаций, которые впоследствии превратились в большие планеты. Для этой схемы трудностью является объяснение химического состава Урана и Нептуна, которые сравнительно бедны водородом и гелием. Об этом мы уже говорили в гл. 10.

Во всяком случае, по-видимому, не случайна сравнительная близость к Солнцу планет земной группы и значительная удаленность от него больших планет. Отсюда мы можем сделать важный вывод: то обстоятельство, что планеты, атмосферы которых в принципе пригодны для возникновения и развития жизни, находятся в сравнительной близости от Солнца, т. е. в «зоне обитаемости», является закономерным следствием процесса, приводящего к формированию планетных систем. Это, конечно, повышает вероятность того, что на некоторых планетах данной планетной системы может возникнуть и развиваться жизнь. Итак, разные условия (положение планеты в «зоне обитаемости», подходящая масса ее и «благоприятный» химический состав атмосферы) могут выполняться одновременно, т. е. не являются независимыми.

В этой главе мы рассмотрели некоторые условия, необходимые для возникновения и развития жизни на планетах. Они носят самый общий характер и являются, если можно так выразиться, «астрономическими». Разумеется, чтобы на какой-нибудь планете возникла жизнь, необходимо выполнение ряда других условий. Так, например, очень важно, чтобы на поверхности планеты образовалась жидкая оболочка — гидросфера. Имеются все основания полагать, что первоначальные формы жизни скорее всего могли возникнуть в воде. Но для образования на планете достаточно мощной гидросферы нужно, чтобы существенная часть водорода, находящегося в том первоначальном материале, из которого образовалась планета, не успела диссипировать, а соединилась с кислородом. Это, конечно, накладывает дополнительное, и притом довольно жесткое, условие на массу планеты, ее радиус и расстояние от планеты до звезды. На другом важном условии (уровень жесткой радиации) мы немного остановимся в гл. 13.

12

Об определении понятия «жизнь»

Мы подошли теперь к самому важному и вместе с тем самому трудному вопросу: каким образом и при каких условиях из неживого вещества возникло живое? Автор этой книги — астроном, а не биолог или химик. Поэтому для него это особенно трудный вопрос. В порядке «утешения» можно только сказать, что вообще эта важнейшая проблема современного естествознания пока еще не решена. Имеются отдельные, часто весьма остроумные, гипотезы, подкрепленные различными химическими и биохимическими лабораторными экспериментами. Нет, однако, никакой уверенности, что соответствующие реакции, некогда происходившие на нашей планете, именно и привели к возникновению жизни. Слишком сложна и трудна эта проблема, а условия на «молодой» Земле известны нам далеко не с полной достоверностью.

Конечно, при таком положении вещей можно было бы просто обойти этот вопрос молчанием. Мы могли бы принять правдоподобную гипотезу, что при подходящих условиях (о которых речь шла в предыдущей главе) в определенные периоды развития планет на них каким-то неизвестным нам образом возникает жизнь. Пройдя достаточно долгий эволюционный путь, эта жизнь может стать разумной. Тогда возникает комплекс интересных вопросов, которым будет посвящена часть 3 этой книги. Мы, однако, так не поступим и постараемся, хотя бы в самой общей форме, дать представление о современных взглядах на происхождение жизни. Это тем более важно сделать, что развитие биохимии, биофизики и генетики сейчас идет такими темпами, что делает вполне возможным решение «проблемы № 1» в близком будущем.

Прежде всего, мы должны определить понятие «живое вещество». Заметим, что этот вопрос является далеко не простым. Многие авторы, например, определяют живое вещество как сложные молекулярные агрегаты — белковые тела, обладающие упорядоченным обменом веществ. В частности, такой точки зрения придерживается академик А. И. Опарин, много занимавшийся проблемой происхождения жизни на Земле.

Конечно, обмен веществ есть существеннейший атрибут жизни. Однако вопрос о том, можно ли сводить сущность жизни прежде всего к обмену веществ, является спорным. Ведь и в мире неживого, например у некоторых растворов, наблюдается обмен веществ в его простейших формах.

Последние 20 лет ознаменовались замечательными успехами генетики. В значительной степени понятным стал удивительный механизм наследственности. Выявлена решающая роль нуклеиновых кислот, в особенности дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в передаче «кода» наследственных признаков от «родителей» к «детям». Схема структуры ДНК приведена на рис. 35. Механизм передачи наследственных признаков оказался одинаковым как для самых низших форм живых существ, так и для высших. Весьма примечательным исключением пока является известный факт наличия у вируса мозаики табака и у некоторых других вирусов не двух, а только одной, более простой нуклеиновой кислоты — рибонуклеиновой кислоты (РНК). У этих вирусов РНК выполняет функции и ДНК, и РНК. О значении этого важного факта речь пойдет в гл. 13. Поразительное свойство «тождественного воспроизводства» при помощи такого управляющего кибернетического устройства, как ДНК,— несомненно существенный атрибут жизни. В то же время чрезвычайно важно следующее обстоятельство.

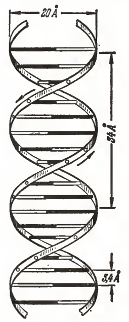


Рис. 35. Схема ДНК.

ДНК представляет собой двойную спираль диаметром 18—20 Å. Шаг этой спирали равен 34 Å. Сахаро-фосфатные нити ДНК включают в себя также остатки фосфорной кислоты и молекулы сахара. К молекулам сахара прикреплены молекулы двух пуриновых (аденин и гуанин) и двух пиримидиновых (тимин и цитозин) оснований, представленных на схеме в виде «мостов», связывающих нити ДНК. Все многообразие наследственных признаков определяется различными комбинациями этих «мостов».

Под влиянием внешних факторов (например, жесткой радиации) могут происходить отдельные нарушения в системе кода наследственности. Такие нарушения будут приводить к появлению у потомков совершенно новых признаков, которые будут передаваться дальше по наследству. Эти явления называются «мутациями». Не все мутации «полезны» для данного вида. Дарвиновский естественный отбор со временем производит жесткую селекцию. В результате остаются («выживают») организмы, у которых мутации оказались полезными, нужными данному виду в его борьбе за существование. Этот процесс и является движущей силой эволюции живых существ на Земле.

Очевидно, что без широкого применения результатов и идей современной генетики — «генетики на молекулярном уровне» — нельзя решить вопрос о происхождении жизни на Земле и на других

планетах. Существенным недостатком старых гипотез о возникновении жизни на Земле, и, в частности, гипотезы академика А. И. Опарина, является то, что они не опираются на современную молекулярную биологию. Впрочем, это вполне естественно, так как механизм передачи наследственных признаков и, в частности роль ДНК, стал в известной степени ясным только сравнительно недавно.

Разумеется, мы не отрицаем большую роль старых гипотез в анализе тех предварительных химических процессов, на основе которых впоследствии возникло живое вещество. Но на коренные вопросы, что такое жизнь и как она возникла, эти гипотезы ответа не дают.

Вопрос об определении понятия «жизнь» стоит очень остро, когда мы обсуждаем возможность жизни на других планетных системах, что является главным предметом нашей книги. На это обстоятельство особенное внимание обращал академик А. Н. Колмогоров — выдающийся математик и крупнейший специалист по кибернетике. Он подчеркивал, что биологические науки до последнего времени занимались исследованием живых существ, населяющих Землю и имеющих общую историю возникновения и развития. Естественно, что понятие «жизнь» отождествлялось при этом с конкретным ее воплощением в конкретных условиях нашей планеты. Но в наш век астронавтики открывается принципиальная возможность обнаружить в Космосе такие формы движения материи, которые обладают практически всеми атрибутами живых, а может быть, даже мыслящих существ. Однако мы ничего не можем заранее сказать о конкретных проявлениях этих форм движения материи. Поэтому сейчас возникает настоятельная потребность дать такое определение понятия «жизнь», которое не было бы связано с гипотезами о конкретных физических процессах, лежащих в ее основе. Следовательно, возникает потребность в чисто функциональном определении понятия «жизнь».

Эта задача далеко не простая, и вполне удовлетворительного функционального определения основного понятия «жизни» пока не существует. Однако первые, и притом, как нам представляется, достаточно успешные, шаги в этом направлении уже сделаны. Мы имеем в виду исследования А. А. Ляпунова, на основных идеях которого мы сейчас остановимся *).

При изучении процессов, лежащих в основе жизнедеятельности всех организмов, от простейших до самых сложных, А. А. Ляпунов исходит из представлений кибернетики. Внимательный анализ показывает, что любое проявление жизни можно перевести на язык науки об управляющих процессах. Характерной особенностью управляющих процессов является то, что передача по определенным каналам небольших количеств энергии или вещества влечет за собой действия, заключающиеся в преобразовании значительно

---

*) См. доклад А. А. Ляпунова «Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов», М., 1962.

больших количеств энергии или вещества. Но кибернетика как раз и занимается изучением процессов управления и строением управляющих систем. Поэтому вполне естественно и даже необходимо при анализе процессов жизнедеятельности исходить из представления кибернетики.

Заметим еще, что такие биологические понятия, как наследственность, раздражимость и т. д., представляют собой не что иное, как конкретизацию таких общих кибернетических понятий, как накопление и хранение информации, управляющая система, обратная связь, канал связи и др.

А. А. Ляпунов считает, что управление, понимаемое в широком, кибернетическом смысле, является самым характерным свойством жизни безотносительно к ее конкретным формам. Тем самым он делает попытку дать функциональное определение понятия «жизнь».

Согласно этой концепции, «живое вещество» определяется следующим образом. Состояние всякого вещества описывается набором целого ряда физико-химических характеристик: массой, химическим составом, энергией, электрическими и магнитными свойствами и др. Вообще говоря, эти характеристики будут с течением времени меняться. Вещества, у которых усредненные за подходящий интервал времени значения характеристик меняются мало по сравнению с другими веществами, обладающими примерно такими же значениями характеристик, Ляпунов называет «относительно устойчивыми». Причиной устойчивости могут быть либо особенно благоприятные внешние условия (например, постоянная температура внешней среды), либо внутренние реакции вещества на внешние воздействия, направленные на сохранение его состояния. Реакции такого типа Ляпунов называет «сохраняющими». Именно последний тип устойчивости и лежит в основе жизнедеятельности всех организмов. В самом деле, для жизни характерна огромная «приспособляемость», «адаптация» к внешним условиям и их изменениям. В ряде случаев живые организмы активно преобразуют окружающую их среду, создавая подходящие условия для своей жизнедеятельности. Так, например, отдельные виды микроорганизмов могут «локально» повышать температуру окружающей их среды. Вся эта «адаптация» жизни достигается живой материей путем огромного количества сохраняющих реакций.

На языке кибернетики сохраняющие реакции можно описать так: вещество воспринимает информацию о внешних воздействиях в виде некоторых кодированных сигналов, перерабатывает ее и по определенным каналам связи посылает также в виде «сигналов» новую информацию. Последняя вызывает такую внутреннюю перестройку самого вещества, которая способствует сохранению его характеристик.

Сигналы должны носить «дискретный» характер, т. е. каждый из них может иметь конечное число возможных значений, причем число сигналов конечно. «Материальным воплощением» такого сигнала может быть, например, некоторый физический процесс. При

переработке информации происходит изменение «материального воплощения» сигналов.

Устройство, в котором происходит переработка информации, может быть названо «управляющей системой». Эта система имеет дискретную природу и состоит из некоторого, вообще говоря, очень большого количества «входных» и «выходных» элементов, связанных «каналами связи», по которым могут передаваться сигналы. Материальная система, служащая для хранения информации, называется «запоминающим устройством» или «памятью». Такая система может, например, состоять из отдельных элементов, каждый из которых будет находиться в одном из нескольких устойчивых состояний, причем состояния элементов меняются под действием поступающих сигналов. Когда некоторое количество таких элементов находится в каких-то определенных состояниях, можно говорить, что «информация записана в памяти». Дело обстоит так, как будто бы информация записана в виде текста конечной длины при помощи алфавита с конечным числом знаков.

При выработке «ответов», обеспечивающих сохраняющие реакции тела на внешние воздействия, управляющая система воспринимает информацию об этих воздействиях, «расчленяет» ее на более мелкие части и «сопоставляет» с информацией, которая в ней уже «записана». В результате и в зависимости от такого сопоставления формируется «ответная информация». Отсюда следует, что управляющая система будет тем более «гибкой», чем больше информации в ней записано, т. е. чем больше объем ее «памяти».

Важным свойством сохраняющих реакций является их быстрота. Последняя должна быть хорошо согласована со скоростью внешних воздействий на тело, которые, вообще говоря, могут меняться в довольно широких пределах. Это требует достаточно большого объема памяти в управляющей системе.

Ряд соображений, на которых мы здесь останавливаться не будем, приводит к требованию, чтобы размеры материальных носителей информации были очень маленькими. С другой стороны, необходимо, чтобы хранение информации в памяти управляющей системы было надежным (иначе не будет обеспечена устойчивость тела). Эта означает требование высокой стабильности состояний элементов, из которых складывается память. Отсюда Ляпунов делает, на наш взгляд, совершенно правильный вывод, что устойчивыми материальными носителями информации могут быть отдельные молекулы, состоящие из достаточно большого количества атомов. Такие молекулы представляют собой квантованные системы. Для изменения состояния подобной молекулы требуется, чтобы она поглотила достаточно большую порцию энергии (например, больше 0,1 *эв*). Поэтому, например, беспорядочные тепловые движения, энергия которых значительно меньше, не могут изменить состояния такой молекулы.

Ляпунов характеризует жизнь как «высокоустойчивое состояние вещества, использующее

для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул».

Чтобы сохраняющие реакции были возможны, необходимо, очевидно, чтобы организм обладал некоторым запасом энергии, причем этот запас должен устойчиво сохраняться. С другой стороны, благодаря действию законов термодинамики во всякой замкнутой системе энергетические уровни (определяемые, например, температурой) должны выравниваться. Следовательно, организм должен противодействовать термодинамическим процессам, что требует непрерывной затраты энергии. Таким образом, для устойчивого поддержания своего состояния всякий организм должен получать энергию извне.

Важной термодинамической характеристикой всякого тела является его энтропия. Если бы живое вещество представляло собой замкнутую (т.е. термодинамически изолированную) систему, в нем непрерывно увеличивалось бы содержание энтропии. Это повлекло бы за собой такое изменение его физических и химических характеристик, которое в конце концов прекратило бы всякую жизнедеятельность. Следовательно, живой организм должен систематически удалять накапливающуюся энтропию. Поэтому живое вещество должно непрерывно обмениваться с окружающей средой энергией и энтропией, что достигается при помощи обмена веществ. Сам обмен веществ регулируется управляющими системами специального назначения, использующими для этого запасы информации.

При таком понимании обмена веществ как способа поддержания жизнедеятельности организма становится довольно ясной несостоятельность старых представлений, фактически отождествляющих жизнь с обменом веществ. Такое отождествление, на наш взгляд, решительно ничего не дает для понимания сущности жизни.

Характернейшей особенностью живого вещества является то, что оно состоит из отдельных структурных единиц—организмов. Каждый такой организм как в информационном, так и в энергетическом смысле представляет собой в значительной степени обособленную единицу и вместе с тем имеет свою собственную структуру. Ляпунов связывает это с «дискретной структурированностью» управления. Под этим он понимает «иерархическую» систему подчинения управляющих систем. Функционирование систем более «высокого» уровня изменяет состояние или «настраивает» системы более «низкого уровня».

Расчленение живой материи на клетки, органы, организмы, популяции, виды и т. д. соответствует иерархии управляющих систем. Каждая из этих структурных единиц живой материи управляется своей «автономной» системой, «энергично воздействующей на все, что подчинено, и в свою очередь подчиняющейся медленно действующей управляющей системе высшей иерархической единицы».

Следует различать системы управления в отдельных организмах и в совокупности организмов (популяции, виды). В первом случае сложная управляющая система состоит из частей, в свою очередь являющихся управляющими системами «низшего яруса». Во втором случае мы имеем очень большое количество более или менее независимых, статистически равноправных систем, взаимодействующих при случайных встречах и коллективных действиях. Такой способ управления, называемый Ляпуновым «статистическим», не является быстродействующим, в отличие от первого, «структурного» способа управления отдельными организмами. Как следствие развитых представлений получается, что «надорганизменные» образования (например, виды) значительно более устойчивы, чем отдельные организмы (которые более или менее быстро погибают). Но высокая устойчивость «надорганизменных» образований возможна лишь при условии появления новых организмов, приходящих на смену старым, т. е. при условии р а з м н о ж е н и я.

Чтобы каждый возникший таким образом организм был устойчив, он должен иметь запас информации, для обеспечения сохраняющих реакций. Совершенно невероятно, чтобы этот запас информации возник в организме самопроизвольно. Новый организм должен получать необходимый для его жизнедеятельности запас информации, а также первоначальную управляющую систему, так сказать, в «готовом виде». Откуда? Только от других подобных организмов, являющихся его «родителями». Отсюда следует важнейший вывод: размножение живых организмов сопровождается «самовоспроизведением» информации, передачей от «родителей» к «потомству».

В этом пункте кибернетический подход к проблеме жизни, развиваемый Ляпуновым, непосредственно смыкается с достижениями молекулярной генетики, выявившими определяющую роль ДНК в передаче наследственных признаков. Огромное многообразие комбинаций четырех оснований молекулы ДНК и представляет собой тот запас информации, который передается от «родителей» к «потомкам».

Из кибернетики (и не только кибернетики) хорошо известно, что всякая передача информации происходит на фоне помех, частично ее искажающих. Не составляет исключения и передача наследственной информации. В этом случае искажения в передаче информации носят название «мутаций». Под влиянием таких «искажений при передаче» действие управляющей системы может измениться. Это повлечет за собой изменение сохраняющих реакций, что в свою очередь приведет к изменению характера взаимодействия организма с окружающей средой. Такие изменения могут радикально изменить как в ту, так и в другую сторону вероятность сохранения данного индивидуума в борьбе за существование. Последнее обстоятельство является движущей силой естественного отбора. Таким образом, с точки зрения кибернетики можно самым общим образом и с единой точки зрения понять основные биологические категории наследственности, наследственной изменчивости и естественного

отбора. В перспективе вырисовываются контуры стройной математической теории дарвиновской эволюции. Идеи Ляпунова, по нашему мнению, следует рассматривать как первый, многообещающий набросок этой теории.

Имеются все основания полагать, что в будущем синтез развитых кибернетических и био-физико-химических представлений приведет к полному пониманию сущности жизни. Пока же мы от этого еще далеки, как это хорошо понимал и сам Ляпунов. Тем не менее для анализа проблемы происхождения жизни на Земле и вероятного многообразия проявлений жизни (в том числе и разумной) во Вселенной уже сейчас идеи Ляпунова, а также примыкающие к ним идеи Колмогорова (к обсуждению которых мы вернемся в конце этой книги) имеют большое значение.

13

О возникновении жизни на планетах

На основании того, что было сказано в предыдущей главе, мы можем с достаточной для наших целей строгостью и точностью определить «живое вещество» как такой сложный молекулярный агрегат, в котором имеется «управляющая система», включающая в себя механизм передачи наследственной информации, обеспечивающей сохраняющие реакции следующим поколениям. Тем самым благодаря неизбежным «помехам» при передаче такой информации наш молекулярный комплекс («организм») способен к мутациям, а следовательно к эволюции.

Возникновению живого вещества на Земле (и, как можно судить по аналогии, на других планетах) предшествовала довольно длительная и сложная эволюция химического состава атмосферы, в конечном итоге приведшая к образованию ряда органических молекул. Эти молекулы впоследствии послужили как бы «кирпичами» для образования живого вещества.

Коль скоро планеты образуются из первичного газово-пылевого облака, химический состав которого аналогичен химическому составу Солнца и звезд, первоначальная их атмосфера состояла в основном из простейших соединений водорода — наиболее обильного элемента в космосе. Больше всего было молекул H_2, H_2O, NH_3 и CH_4. Кроме того, первичная атмосфера должна была быть богата инертными газами, прежде всего гелием и неоном. Тот простой факт, что в настоящее время обилие благородных газов на Земле по сравнению с Солнцем ничтожно мало *), означает, что они в свое время диссипировали в межпланетное пространство. Вместе с ними должны были диссипировать и молекулы, содержащие водород.

*) В земной атмосфере имеется довольно значительное количество (около 1%) аргона. Однако атмосферный аргон образовался позже в результате радиоактивного распада калия и никакого отношения к первоначальной атмосфере не имеет.

Таким образом, современная атмосфера Земли имеет вторичное происхождение. Она образовалась после диссипации первичной атмосферы благодаря газам, вошедшим в состав твердой коры Земли, а также благодаря некоторым соединениям первичной атмосферы. При постепенном разогревании коры недавно образовавшейся планеты (главным образом из-за радиоактивности) из нее выделялись заключенные в ней газы.

Первое время химический состав вторичной атмосферы мало отличался от первичной. Правда, из-за диссипации водородных молекул было уже мало. Преобладающими были молекулы H_2O, NH_3 и CH_4. После того как образовалась гидросфера, большинство молекул аммиака (NH_3) растворилось в воде. С течением времени основными молекулами атмосферы, содержащими азот, становились молекулы N_2. Современная насыщенная кислородом атмосфера Земли постепенно формировалась благодаря диссоциации молекул воды ультрафиолетовым излучением Солнца на высотах 100—200 *км*. Один из продуктов такой диссоциации — молекулярный, а также атомарный водород — довольно быстро улетучивался в межпланетное пространство, а кислород оставался в атмосфере.

Однако, по-видимому, решающую роль в насыщении земной атмосферы кислородом сыграл фотосинтез растений. Не исключено, что некоторое, а может быть даже существенное, количество органических веществ было принесено на Землю при падениях метеоритов и, возможно, даже комет. В гл. 16 мы увидим, что некоторые метеориты довольно богаты органическими соединениями. Так, известный американский специалист по планетной астрономии Саган подсчитал, что за 2 млрд. лет метеориты могли принести на Землю от 10^8 до 10^{12} *т* органических веществ. С другой стороны, в кометах присутствуют такие соединения, как CN, NH_3 и др.

Сколько времени на Земле существовала первичная атмосфера? Имеются довольно надежные геологические и геохимические данные, указывающие на то, что уже 3,5 млрд. лет назад земная атмосфера была богата кислородом. С другой стороны, возраст земной коры оценивается геологами в 4,5 млрд. лет. Следовательно, время существования неокисленной атмосферы на Земле не превышало 1 млрд. лет. Жизнь должна была возникнуть на Земле до того, как атмосфера стала богата кислородом, так как последний в основном является продуктом жизнедеятельности растений. Согласно недавней оценке Сагана, жизнь на Земле возникла $4{,}2 \pm 0{,}2$ млрд. лет назад.

Эта оценка следует из того, что самые древние из известных на Земле организмов — сине-зеленые водоросли имеют возраст 3,2 млрд. лет. Так как эти организмы довольно сложны, ясно, что от момента зарождения жизни на Земле до их возникновения прошло немало времени. Другими словами, уже на ранних фазах эволюции Земли на ней возникала жизнь.

Схематически путь эволюции органического вещества на Земле можно представить в виде следующей таблицы.

ТАБЛИЦА 3

I	II	III	IV	V
Образование Земли	Возникновение живых систем. Клетка	Эволюция одноклеточных. Возникновение клеточной дифференциации	Эволюция многоклеточных	Человек

Рассмотрим теперь более подробно начальные этапы этой эволюции. По-видимому, наибольшие загадки ставит перед нами переход от первой фазы эволюции ко второй.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал, иллюстрирующий, каким образом такие простые вещества, как вода, метан, аммиак, окись углерода, аммонийные и фосфатные соединения и др., превращаются в высокоорганизованные структуры, являющиеся основными строительными блоками клетки — единицы живого. Эти опыты, начатые впервые американскими учеными Кельвином, Миллером и Юри, положили начало новому научному направлению, получившему впоследствии название «пребиологической химии».

Так, например, опытами Миллера доказано, что при прохождении электрических разрядов через смесь метана (CH_4), молекулярного водорода (H_2), аммиака (NH_3) и паров воды (эта смесь довольно хорошо моделирует первичную атмосферу Земли) возникали глицин, аланин и другие аминокислоты, а также ряд органических соединений. Точно так же экспериментально доказано ,что в такой смеси образование органических соединений (в частности, аминокислот) может происходить под воздействием ультрафиолетовой радиации. Можно полагать, что в условиях неокисленной земной атмосферы, когда ультрафиолетовое излучение Солнца беспрепятственно могло достигать земной поверхности *), важная роль в образовании первых органических соединений принадлежала этому источнику энергии. В то же время серьезное значение могли иметь и другие источники энергии. Следует подчеркнуть, что уже первые попытки экспериментального изучения проблемы возникновения жизни на молекулярном уровне продемонстрировали возможность многочисленных «вариантов», которые могли иметь место в течение первого миллиарда лет истории Земли.

Таким образом, можно считать доказанным, что под воздействием различных форм энергии на примитивной Земле возникали достаточно сложно организованные органические молекулы.

В синтезе органики наиболее существенную роль должны были играть электрические разряды, ударные волны, ультрафиолето-

*) В настоящее время близкая ультрафиолетовая часть солнечного спектра поглощается озоном O_3, а более далекая — малекулами кислорода O_2 и азота N_2.

вое излучение Солнца, вулканическое тепло, радиоактивный распад K^{40}.

Из табл. 4 видно, что основной вклад в процессы абиогенного синтеза вносит ультрафиолетовое излучение Солнца. Однако вопрос об относительной эффективности различных видов энергии не так прост, как это кажется на первый взгляд. В экспериментах по абиогенному синтезу были использованы все источники энергии, перечисленные в табл. 4. При этом выяснилось, что определяющим моментом является не общее количество энергии, а «к. п. д.» той или иной модели образования органических веществ.

ТАБЛИЦА 4

Источник	Средняя энергия на всю поверхность Земли (в единицах 10^{20} *кал/год*)
Распад K^{40} (в настоящее время)	0,3
Распад K^{40} ($2{,}6 \cdot 10^9$ лет назад)	1,2
Ультрафиолетовое излучение Солнца ($\lambda < 1500$ Å)	0,08
» » » ($\lambda < 2000$ Å)	4,5
Вулканизм (лава 1000 °С)	0,04
Удары метеоритов	0,05
Молнии	0,05

Полезно рассмотреть следующие этапы в эволюции органического вещества на примитивной Земле:

1. Эволюция малых молекул.
2. Образование полимеров.
3. Возникновение каталитических функций.
4. Самосборка молекул.
5. Возникновение мембран и доклеточная организация.
6. Возникновение механизма наследственности.
7. Возникновение клетки.

Необходимо отметить, что в настоящее время не представляется возможным искусственно воспроизвести в лабораторных условиях возникновение механизма матричного копирования, реализуемого в живой клетке нуклеиновыми кислотами. Между тем, по-видимому, в этом состоит суть проблемы возникновения жизни на Земле.

Наиболее изученным этапом в пребиологической химии является эволюция малых молекул. Было экспериментально изучено воздействие всех вышеперечисленных видов энергии на смеси различных газов: водород, метан, аммиак, окись углерода, двуокись углерода, азот, вода, кислород, сероводород. При этом было установлено, что если смесь не была окислительной, то всегда образовывались аминокислоты и другие биологически активные соединения.

Определяющими промежуточными продуктами в синтезе аминокислот, оснований нуклеиновых кислот, сахаров и порфиринов

являются формальдегид и цианистый водород. Образование этих простых продуктов происходит и в газовой, и в водной фазе. Образование же более сложных молекул (аминокислот) происходит главным образом в водной среде.

Среди возможных механизмов образования аминокислот можно указать на синтез Штрекера, как конечный этап превращения аминонитрилов и циангидринов

$$NH_3 + KCHO + HCN \rightleftarrows NH_2CH(K)CN + H_2O \text{ (аминонитрил)},$$
$$KCH(NH_2)CN + 2H_2O \rightarrow KCH(NH_2)COOH + NH_3 \text{ (циангидрин)}.$$

Что касается синтеза оснований нуклеиновых кислот, то здесь также, как выяснилось, центральную роль играет цианистый водород. Так, при синтезе аденина «суммарную» реакцию образования этого соединения можно записать следующим образом:

$$5HCN \rightarrow \text{аденин}.$$

При образовании сахаров в условиях, моделирующих примитивную Землю, происходит щелочная конденсация формальдегида. Протекание этой реакции катализируется гидроокисями щелочноземельных металлов.

В экспериментах, проведенных Гейбелом и Поннамперумой, водные растворы формальдегида в различных концентрациях нагревались в присутствии каолинита, который использовался в качестве природного катализатора. В числе продуктов реакции были отождествлены триозы, тетрозы, пентозы, гексозы. Была отождествлена также рибоза.

Чрезвычайно важной группой соединений, присутствующих в большинстве живых организмов, являются порфирины. Порфириновая структура лежит в основе хлорофилла. Целый ряд важнейших ферментов, таких как каталаза, пероксидаза и др., также имеют порфириновую структуру.

В экспериментах по абиогенному синтезу порфирин был идентифицирован как один из продуктов реакции в смеси метан — аммиак — вода — водород под действием электрического разряда.

Наиболее существенным достижением в области пребиологической химии можно считать абиогенный синтез нуклеотидов и полинуклеотидов, осуществленный впервые Шраммом из углеводов и гетероциклических оснований с помощью метафосфорных эфиров (МФЭ). В процессе синтеза образовывались продукты различного молекулярного веса и структуры, причем нуклеотиды в полинуклеотидной цепи располагались случайно, не образуя какой-либо определенной последовательности.

Значительный интерес представляют также эксперименты Фокса по термической полимеризации аминокислот.

Таким образом, многочисленные эксперименты по абиогенному синтезу продемонстрировали возможность образования основных классов биологических активных соединений небиологическим пу-

тем в условиях, моделирующих природные условия, существовавшие на примитивной Земле.

Однако образование самых сложных молекул не решает вопроса об отборе и сохранении определенных типов молекулярных соединений. На определенной стадии усложнения структуры молекул возникает такое принципиально новое свойство их как возвратный катализ. Образовавшиеся довольно сложные молекулы должны разрушаться (диссоциировать) при поглощении более длинноволнового излучения, чем то, которое стимулировало их образование. Так как поток солнечного излучения в области более длинных волн значительно превосходит поток ультрафиолетового излучения, стимулирующего синтез первичных органических соединений, последние будут разрушаться, и какого-либо накопления их происходить не должно. Заметим, что эта трудность является общей для всех механизмов образования первичных органических соединений, так как неокисленная атмосфера планеты должна быть прозрачной для ультрафиолетовых лучей Солнца. Сейчас намечается несколько путей преодоления этой трудности. Например, можно предположить, что после сформирования гидросферы образовавшиеся в ее поверхностных слоях органические соединения путем конвекции переносились на достаточную глубину, куда уже «разрушительное» излучение не доходило.

Зная поток ультрафиолетового излучения Солнца, стимулирующего образование органических веществ, и считая, что вновь образовавшиеся вещества не разрушаются, а постепенно накапливаются, можно оценить количество образующегося таким способом органического вещества на Земле. Такие вычисления произвел Саган, который в предположении, что этот процесс длился 1 млрд. лет, нашел, что над каждым квадратным сантиметром земной поверхности могло образоваться несколько килограммов органических соединений. Эта величина представляется достаточно большой. Например, если бы все эти образовавшиеся в раннюю эпоху развития нашей планеты органические вещества растворить в мировом океане, концентрация такого раствора была бы приблизительно 1%. Так как есть основания полагать, что объем мирового океана за геологическую историю Земли почти не менялся, можно сделать вывод, что первобытный океан представлял собой 1%-ный раствор различных органических соединений. Довольно крепкий питательный бульон! Эта среда была весьма благоприятна для образования новых, более сложных органических соединений. В частности, из аминокислот могли синтезироваться различные белковые соединения.

До сих пор предполагалось, что жизнь как-то возникла на всей «осредненной» поверхности первобытной Земли, для чего потребовались сотни миллионов лет. Но, конечно, это могло быть и наверняка было не так! В отдельных местах земной поверхности условия для эволюции сложных молекул в первые примитивные формы жизни могли быть особенно благоприятны. Идеи «локального» возникновения жизни на Земле и притом в сравнительно короткие сроки

высказывались неоднократно. Недавно Л. М. Мухин предложил интересную гипотезу, что жизнь могла возникнуть в области подводных вулканов.

По всей видимости, именно подводный вулканизм мог играть известную роль в образовании предшественников сложных органических молекул. Действующий вулкан можно рассматривать не только как источник тепла, но и как источник простых соединений, таких как CO, CH_4, H_3, CO_2, H_2O, H_2, H_2S и пр., необходимых для синтеза органического вещества. Реакции, происходящие между этими газами в условиях повышенных температур и давлений, должны приводить к образованию предшественников сложных органических соединений, цианистого водорода и формальдегида. Гидросфера (океан) используется в данной модели как фактор, обеспечивающий стабильность образовавшихся продуктов вследствие больших перепадов температуры в зоне действия подводного вулкана. Кроме того, в области подводного вулкана имееется широкий диапазон давлений, что весьма существенно, так как высокие давления необходимы для повышения выхода продукта в ряде реакций. Наконец, наличие в области подводного извержения зон с температурой 50—100°С обеспечивает прохождение ряда реакций, приводящих к синтезу более сложных органических соединений. Механизмы этих реакций достаточно подробно освещены в работах Оро и Поннамперума.

Образование в процессе извержения твердых частиц обусловливает наличие катализаторов и может способствовать в дальнейшем процессам концентрирования и полимеризации органики.

Л. М. Мухин указывает на некоторые реакции, которые могут иметь место в зоне подводных извержений:

1) $$CH_4 + NH_3 \xrightarrow{\text{катализаторы}} HCN + 3H_2,$$

2) $$2CO + NH_3 \xrightarrow{\text{катализаторы}} HCN + CO_2 + H_2,$$

3) $CO + H_2 \xrightarrow{\text{катализаторы}}$ альдегиды и другие кислородосодержащие соединения, углеводороды.

Таким образом, вследствие возможного образования в зоне действия подводного вулкана НС и CH_2O, подводные вулканические процессы можно рассматривать как источник небиологического синтеза сложных органических соединений.

Рассмотрим теперь некоторые численные значения, которые носят характер ориентировочных оценок. Масса газа, выброшенного при сильном извержении, имеет порядок величины 10^{12} *г*. Если принять, что в течение истории развития Земли такие извержения были ежегодно, то при благоприятных условиях могло образоваться до 10^{17} *г* органических соединений.

«Вулканический» механизм образования сложных молекул может иметь принципиальное значение в условиях, где по ряду при-

чин воздействием ультрафиолетового излучения на исходные материалы можно пренебречь.

Предложенный Мухиным механизм образования сложных молекул не требует наличия метано-аммиачной атмосферы. Было бы интересно проверить этот механизм экспериментально в зоне действия какого-либо подводного вулкана.

Много лет тому назад Бернал высказывался в том смысле, что жизнь могла зародиться в иле небольших лагун. В таких условиях полимеризация молекул может протекать гораздо быстрее, так как микроскопические частицы ила могут выступать в роли своеобразных катализаторов. Это предположение Бернала было подтверждено экспериментально. Любопытно отметить, что сложные органические молекулы значительно лучше «сопротивляются» разрушительному воздействию ультрафиолетовых лучей, а также нагреву, чем простые. Поэтому следует ожидать, что с течением времени должны «выживать» более сложные молекулы, в то время как простые должны разрушаться. Довольно любопытный пример «естественного отбора» у неживой материи!...

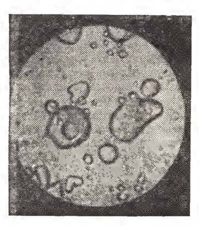


Рис. 36. Коацерватные капли (увеличено в 320 раз).

Наряду с описанным «естественным отбором», приводящим к преимущественному образованию сложных органических соединений, будут происходить, и притом довольно эффективно, «сливания» таких молекул в целые молекулярные агрегаты, насчитывающие сотни тысяч и миллионы молекул. Такие образования называются «коацерватными каплями». Они неоднократно исследовались экспериментально. На рис. 36 приведена фотография таких капель, сделанная через микроскоп при увеличении в 320 раз. В итоге образования коацерватных капель в них могут быть сконцентрированы все белковые молекулы, присутствующие в мировом океане — растворе. В окружающей воде будут растворены только сравнительно простые, низкомолекулярные соединения.

Академик А. И. Опарин считает, что именно эти коацерватные капли при определенных условиях могли дать начало образованию первичных живых систем. Об этом свидетельствует ряд интересных свойств коацерватных капель, ставших известными в результате лабораторных исследований. В частности, эти капли обладают свойством улавливать и впитывать в свою структуру некоторые вещества из окружающего их низкомолекулярного раствора. В этом А. И. Опарин усматривает зачаточные формы процесса обмена веществ — важ-

нейшего, по его мнению, атрибута жизни. Он подчеркивает, что в мире коацерватов имеют место полные аналоги процесса естественного отбора. По этому поводу он пишет: «Образовавшиеся в земной гидросфере коацерватные капли находились погруженными не просто в воде, а в растворе разнообразных органических веществ и неорганических солей. Эти вещества и соли адсорбировались коацерватными каплями и затем вступали в химическое взаимодействие с веществом самого коацервата. Происходили процессы синтеза. Но параллельно с ними шли и процессы распада. Скорость как тех, так и других процессов зависела от внутренней организации каждой данной капли. Более или менее длительно существовать могли только те капли, которые обладали известной динамической устойчивостью, в которых при данных условиях внешней среды скорости синтетических процессов преобладали над скоростями разложения. В обратном случае капли были обречены на исчезновение. Индивидуальная история таких капель быстро обрывалась, и поэтому такие «плохо организованные капли» уже не играли никакой роли в ходе дальнейшей эволюции органической материи» *).

С гипотезой А. И. Опарина в настоящее время трудно согласиться. Наличие аналогов обмена веществ и «естественного отбора» у коацерватов еще не есть доказательство того, что они могли привести к образованию первых примитивных живых организмов. Основными свойствами всякого живого организма, помимо обмена веществ, являются наличие «копировальной системы», «кода», передающего по наследству все характерные признаки данной особи. Между тем у коацерватов ничего подобного нет. Изобилие на первобытной земле всевозможных, в том числе и достаточно сложных, «строительных блоков», из которых построено все живое, еще не объясняет, как возникла и стала функционировать живая субстанция, представляющая собой даже в самых простых формах весьма сложную машину, а если говорить точнее, великолепно работающую современнейшую фабрику-автомат.

«Управляющая система» этой фабрики сосредоточена в одномерной структуре ДНК, хранящей информацию, записанную на языке, состоящем из четырех букв (оснований). Система осуществляет перевод этого языка на язык строящихся по ее командам белков, состоящий из 20 букв (аминокислот).

Как произошел качественный скачок от неживого к живому, гипотеза А. И. Опарина совершенно не объясняет. Только привлечение основных представлений современной молекулярной биологии, а также кибернетики, может помочь решению этой важнейшей, основной проблемы. Впрочем, пока не ясно, есть ли такое решение вообще.

Итак, центральной проблемой происхождения жизни на Земле является реконструкция эволюции механизма наследственности.

---

*) А. И. Опарин, В. Г. Фесенков, Жизнь во Вселенной, Изд-во АН СССР, 1956.

Жизнь возникла только тогда, когда начал действовать механизм репликации. Ведь любая сколь угодно сложная комбинация аминокислот и других сложных органических соединений — это еще не живой организм. Можно, конечно, предположить, что при каких-то исключительно благоприятных обстоятельствах где-то на Земле возникла некая «праДНК», которая и послужила началом всему живому на Земле. Вряд ли, однако, это так, если гипотетическая «праДНК» была вполне подобна современной. Дело в том, что современная ДНК сама по себе совершенно беспомощна. Она может функционировать только при наличии белков-ферментов. Думать, что чисто случайно, путем «перетряхивания» отдельных блоков — многоатомных молекул, могла возникнуть такая сложнейшая машина, как «праДНК» и нужный для ее функционирования комплекс белков-ферментов,— это значит верить в чудеса. Куда, например, более вероятно предположить, что какая-нибудь мартышка, беспорядочно барабаня по клавиатуре пишущей машинки, случайно напечатает 66-й сонет Шекспира... Выход из этого затруднительного положения может состоять в том, что сам репликационный механизм за миллиарды лет претерпел огромную эволюцию от простого к сложному. К сожалению, успехи в этой важнейшей области пока незначительны.

Рич, однако, указал на значительное сходство строения молекул ДНК и РНК, которые тем не менее выполняют в клетке совершенно различные функции. ДНК является носителем генетической информации, РНК служит для превращения этой информации в реальные молекулы белка, т. е. для непосредственного синтеза видовоспецифического белка.

Особого внимания заслуживает открытие у вируса табачной мозаики и у некоторых других вирусов не двух, а только одной нуклеиновой кислоты, более простой — РНК. Эта РНК оказалась способной осуществлять функции обеих нуклеиновых кислот — передачи наследственной информации и синтеза белка.

Можно допустить, что обе нуклеиновые кислоты произошли от одной общей более примитивной молекулы. Усложняясь и специализируясь в процессе эволюции, эта «прануклеиновая» кислота превратилась в функционально различные типы молекул ДНК и РНК. Возможно, что этой первичной нуклеиновой кислотой могла быть молекула, близкая к более простой РНК. Подобно РНК вируса табачной мозаики она обладала способностью к передаче наследственной информации и к синтезу белка. Возможно также, что вирусы, содержащие только одну РНК (филогенетически более раннее образование), следует рассматривать как современные модификации древней, примитивной формы жизни.

Все это может пролить некоторый свет на пути возникновения и развития живых существ от более простых форм управления и примитивной жизни к более сложным формам. Если небелковая («неживая») молекула РНК в подходящей среде образует живые вирусные тела, то не на этом ли пути можно обнаружить «мостик» между неживой и живой природой? Решающее слово в этом важнейшем

вопросе принадлежит будущим биохимическим и генетическим исследованиям.

Для образовавшихся на планете первых примитивных живых организмов высокие дозы жесткой радиации могут представлять смертельную опасность, так как мутации будут происходить так быстро, что естественный отбор не поспеет за ними.

Мы уже упоминали в гл. 5, что примерно один раз в сотни миллионов лет около Солнца вспыхивает сверхновая звезда, и в нашей планетной системе уровень космических лучей увеличивается в десятки и сотни раз. Однако для сравнительно короткоживущих примитивных жизненных форм такое увеличение уровня жесткой радиации не представляет серьезной опасности. Кроме того, длительность периодов повышенной интенсивности космических лучей сравнительно невелика (десятки тысяч лет). Другим возможным источником губительной жесткой радиации мог быть повышенный уровень радиоактивности на первобытной Земле. Однако расчеты показывают, что этот уровень вряд ли превышал современный более чем в 10 раз. Солнечное рентгеновское излучение в те времена, так же как и сейчас, не проникало через толщу атмосферы. И только один вид жесткой радиации имел высокую интенсивность — ультрафиолетовое излучение Солнца в области длин волн 0,29—0,24 *мк*, для которого первобытная атмосфера Земли, в отличие от современной, была прозрачной.

Так как Солнце в те времена излучало примерно так же, как и сейчас, мы можем оценить поток его излучения на Земле в указанной спектральной области. Этот поток оказывается равным $5 \cdot 10^3$ *эрг/см²·сек*, т. е. примерно в 300 раз меньше полного потока солнечного излучения. Смертельная доза такой радиации для большинства современных микроорганизмов составляет 10^5—10^6 *эрг/см²*. Радиационная опасность отсутствует в том случае, когда за время жизни одного поколения живых организмов доза радиации меньше приведенной величины. Имеются некоторые основания полагать, что время жизни первобытных примитивных организмов было достаточно велико, например, несколько недель. Если считать, что для них доза в 10^3 *эрг/см²* была опасной, то поток ультрафиолетовой радиации должен быть не больше 10^{-3} *эрг/см²·сек*, т. е. в 5 млн. раз меньше реального потока солнечного излучения. Отсюда следует важный вывод, что первичные живые организмы могли образоваться и развиваться только на достаточно большой глубине под водой. Слой воды в несколько десятков метров уменьшает поток ультрафиолетового излучения в десятки миллионов раз и тем самым обеспечивает необходимую для развития живых организмов «броню». Это является еще одним важным аргументом в пользу утверждения, что жизнь на нашей планете возникла и развивалась первоначально в воде, причем на достаточно большой глубине.

Мы остановились только на некоторых основных вопросах возникновения жизни на Земле и по аналогии — на других планетах. В этой проблеме еще очень много неясного. Например, все белковые

соединения, входящие в состав живого вещества, имеют «левую асимметрию». Что это означает? Дело в том, что большое количество органических соединений может существовать в двух формах. Эти формы отличаются одна от другой противоположной ориентацией отдельных группировок атомов — некоторая группировка атомов в одной форме является зеркальным изображением соответствующей группировки в другой.

Когда происходит лабораторный синтез такого соединения, всегда «правые» и «левые» формы присутствуют в одинаковом количестве, так как «наращивание» молекул путем присоединения

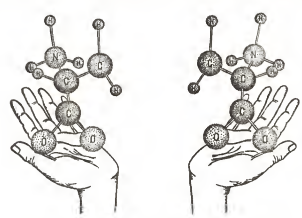


Рис. 37. «Левые» и «правые» органические молекулы.

атомов и атомных группировок происходит случайным образом. Почему же в «живых» органических соединениях всегда присутствуют только «левые» формы?

Еще Пастер указал, что «асимметричный синтез» может происходить при наличии какого-нибудь природного асимметричного фактора. И действительно, если в лабораторных условиях синтезировать некоторые органические соединения под воздействием поляризованного по кругу света, то в зависимости от направления вращения светового вектора получаются преимущественно «правые» или «левые» формы синтезируемых веществ. К сожалению, таким способом трудно объяснить асимметрию «живых» молекул, так как в солнечном излучении отсутствует сколько-нибудь значительная составляющая, поляризованная по кругу. Впрочем, нельзя исключать того, что после прохождения значительной толщи первобытного океана, вода которого, быть может, обладала соответствующими оптическими свойствами, такая составляющая и возникала. Этот вопрос требует специального исследования.

Другой возможный путь асимметричного синтеза был указан Берналом. При синтезе некоторых органических веществ на поверхности оптически активных кристаллов (например, кварца) могут

возникать формы определенной симметрии. Следует, однако, отметить, что в природе распространены как «правые», так и «левые» кристаллы. Поэтому не совсем ясно, каким образом в живом веществе молекулы имеют асимметрию только одного знака и вряд ли асимметричный синтез в естественных условиях первобытной Земли мог происходить таким способом. Так или иначе, вопрос о причине асимметрии живой субстанции пока остается открытым.

Заслуживает внимания еще такой вопрос: почему жизнь на Земле не возникает из неживого вещества в настоящее время? И вообще — жизнь на Земле возникла однократно или многократно? Против возможностей повторного зарождения жизни на нашей планете из неживой субстанции можно выдвинуть такой серьезный аргумент: ранее возникшая жизнь не даст возможность новому зарождению жизни. Микроорганизмы и вирусы буквально съедят уже первые ростки новой жизни. Другим аргументом против «повторного» зарождения жизни является ничтожно малая вероятность этого процесса. Ведь нельзя исключить возможность того, что жизнь на Земле возникла случайно (см. ниже).

Существует еще одно обстоятельство, на которое, может быть, стоит обратить внимание. Хорошо известно, что все «живые» белки состоят из 20 аминокислот, между тем как всего аминокислот известно свыше 100. Не совсем понятно, чем отличаются эти 20 аминокислот от остальных своих «собратьев» *). Нет ли какой-то глубокой связи между происхождением жизни и этим удивительным явлением? Это можно было бы понять, так же как и «левую» асимметрию всего живого, если предположить, что некогда в первобытном океане, представлявшем собой водный раствор химически активных органических соединений, благодаря счастливому стечению случайных и довольно маловероятных обстоятельств возникла одна молекула нуклеиновой кислоты, подобная современной молекуле РНК у вируса табачной мозаики, но только значительно более простая. В частной беседе с автором этой книги А. Н. Колмогоров высказал предположение, что вероятность случайного образования такой молекулы, если она содержит всего несколько десятков звеньев, не исчезающе мала! **). Эта молекула, оказавшаяся в благоприятной среде, начала строить по своей программе из окружающих ее аминокислот соответствующие белки. Структура этой молекулы была именно такая, что «освоить» она могла только 20 аминокислот из большого их количества, имевшегося в окружающем растворе, притом с «левой» симметрией. Начался бурный процесс размножения первичных организмов. Под воздействием мощного ультрафиолетового излучения Солнца, пронизывавшего в то время первобытную,

---

*) Впрочем некоторые количества других аминокислот имеются у низших организмов. Следует, однако, заметить, что у этих организмов ДНК отличаются от обычных.

**) Следует иметь в виду, что макромолекулы — блоки, из которых строится живая ткань, сами по себе, на основании законов органической химии, имеют высокоорганизованную структуру (вспомним кольцо бензола!).

неокисленную атмосферу и верхние, поверхностные слои мирового океана, начался интенсивный процесс мутации. Это поставило отдельные организмы в разные условия при освоении питательной среды окружающего «бульона», что автоматически ввело в действие фактор естественного отбора.

Заметим, что аналогичные гипотезы о возникновении жизни как редчайшего сочетания очень «благоприятных» случайных причин высказывались неоднократно. Если жизнь на Земле возникла «случайно», значит, жизнь во Вселенной редчайшее (хотя, конечно, ни в коем случае не единичное) явление. Для данной планеты (как, например, наша Земля) возникновение особой формы высокоорганизованной материи, которую мы называем «жизнью», является случайностью. Но в огромных просторах Вселенной возникающая таким образом жизнь должна представлять собой закономерное явление.

Гипотеза о «случайном» возникновении жизни на Земле будет сразу же опровергнута, если с достоверностью будет обнаружена какая-нибудь жизнь на других планетах Солнечной системы. К сожалению, таких доказательств, даже в случае Марса, мы сегодня не имеем (см. гл. 15). Излишне подчеркивать, что, если на планетах никаких признаков жизни не будет обнаружено, это еще не будет служить сколько-нибудь серьезным аргументом в пользу гипотезы о случайном происхождении жизни на Земле.

Заканчивая эту главу, мы еще раз должны подчеркнуть, что центральная проблема возникновения жизни на Земле — объяснение качественного скачка от «неживого» к «живому» — все еще далека от ясности. Недаром один из основоположников современной молекулярной биологии проф. Крик на Бюраканском симпозиуме в сентябре 1971 г. сказал: «Мы не видим пути от первичного бульона до естественного отбора. Можно прийти к выводу, что происхождение жизни — чудо, но это свидетельствует только о нашем незнании».

Все же не будем отчаиваться — и эта твердыня непознанного будет взята; порукой этому является гигантский прогресс современной молекулярной биологии.

14

«Есть ли жизнь на Земле?»

Волнующий вопрос о жизни на других планетах занимает умы астрономов (и не только астрономов) вот уже несколько столетий. Возможность самого существования планетных систем у других звезд только сейчас, как мы видели в гл. 9, становится предметом количественных научных исследований. Раньше же вопрос о жизни на других планетах был областью чисто умозрительных заключений. Между тем Марс, Венера и другие планеты Солнечной системы уже давно были известны как несамосветящиеся твердые небесные тела, окруженные атмосферами. Давно стало ясно, что в общих чертах они напоминают Землю, а если так, почему бы на них не быть жизни, даже высокоорганизованной и, кто знает, разумной?

Однако существует большая дистанция между догадками и реальным знанием. Нет сейчас смысла останавливаться на огромном количестве гипотез и литературных произведений, посвященных этой увлекательной проблеме. Наша задача — попытаться кратко изложить ее современное состояние.

Вполне естественно считать, что физические условия, господствовавшие на «только что» образовавшихся из первоначальной газово-пылевой среды планетах земной группы (в эту группу, как известно, входят Меркурий, Венера, Земля и Марс), были очень сходными, в частности их первоначальные атмосферы были одинаковы. Поэтому, вообще говоря, можно ожидать, что условия для возникновения живой материи на этих планетах были если не одинаковыми, то похожими.

В предыдущей главе мы определили живую материю как сложный молекулярный агрегат, способный к «печатанию» себе подобных систем и подверженный мутациям. Безусловно, такой агрегат мог возникнуть на основе определенных химических реакций, протекающих в определенных условиях. Поэтому проблема возникновения жизни есть в значительной степени проблема химическая.

Основными атомами, входящими в состав тех молекулярных комплексов, из которых образовалось живое вещество, являются водо-

род, кислород, азот и углерод. Роль последнего особенно важна. Углерод — четырехвалентный элемент. Поэтому только углеродистые соединения приводят к образованию длинных молекулярных цепей с богатыми и изменчивыми боковыми ответвлениями. Именно к такому типу принадлежат различные белковые молекулы.

В популярной литературе часто приходится читать, что на других планетах жизнь может возникнуть не обязательно на углеродной основе. «Заменителем» углерода обычно называют кремний. Кремний довольно обилен в космосе. В атмосферах звезд и туманностях его содержание (по числу атомов) всего лишь в 5—6 раз меньше, чем углерода, т. е. достаточно велико. Вряд ли, однако, кремний может играть роль «краеугольного камня» жизни. По некоторым причинам его соединения не могут обеспечить такой богатый «ассортимент» боковых ответвлений в сложных молекулярных цепочках, как у углеродных соединений. Между тем богатство и сложность таких боковых ответвлений именно и обеспечивают огромное разнообразие свойств белковых соединений, а также исключительную «информативность» ДНК, что совершенно необходимо для возникновения и развития жизни.

Как мы видели в предыдущей главе, важнейшим условием для возникновения и развития жизни на планете является наличие на ее поверхности достаточно большого количества жидкой среды. В такой среде находятся в растворенном состоянии органические соединения и могут создаваться благоприятные условия для синтеза на их основе сложных молекулярных комплексов. Кроме того, жидкая среда необходима только что возникшим примитивным живым организмам для защиты от губительных ультрафиолетовых лучей, которые в те времена могли свободно проникать до поверхности недавно сформировавшейся планеты.

Из самых общих соображений следует ожидать, что такой жидкой оболочкой может быть только вода и жидкий аммиак. Образование последнего требует сравнительно низкой температуры поверхности планеты. Вообще значение температуры первоначальной планеты для возникновения на ней жизни весьма велико. Если температура достаточно высока, например выше 100 °С, а давление атмосферы не очень велико, на ее поверхности не может образоваться водная оболочка, не говоря уже об аммиачной. В таких условиях говорить о возможности возникновения жизни на планете, конечно, не приходится.

Исходя из сказанного, мы можем ожидать, что условия для возникновения в отдаленном прошлом жизни на Марсе и Венере могли быть, вообще говоря, благоприятными. Вряд ли они были благоприятными на Меркурии, так как его температура относительно высока, а масса мала, что способствует быстрой диссипации газов, и прежде всего водорода, необходимых для возникновения на его поверхности водной оболочки. На рис. 38 приведена фотография Меркурия, полученная в расстоянии 200 000 *км* с борта американской автоматической межпланетной станции «Маринер-10». Поражает

сходство рельефа поверхности Меркурия и Луны. Жидкой оболочкой на Венере и Марсе могла быть только вода, а не аммиак, что следует из анализа физических условий на этих планетах в эпоху их формирования. Но возможность еще не означает действительности. Вопрос о том, есть ли (или была) жизнь на Марсе и Венере, должен быть, прежде всего, решен астрономическими наблюдениями и физическим экспериментом *).



Рис. 38. Фотография Меркурия, полученная АМС «Маринер-10» 29 марта 1974 г.

Очень трудно получить путем астрономических наблюдений явные указания на наличие жизни на той или другой планете. Не следует забывать, что даже в самые хорошие телескопы при наиболее благоприятных условиях минимальные размеры деталей, еще различимых на поверхности Марса, равны 100 *км*.

Земная атмосфера, вернее ее неспокойствие, является основной помехой, не позволяющей наблюдать на поверхностях планет детали меньших размеров. Коренное изменение в этой ситуации произошло только после того, как американская автоматическая станция «Маринер-4» получила первые фотографии поверхности Марса с близкого расстояния (см. гл. 18).

Чтобы положение, в котором находятся астрономы, стало более понятным, вообразим себе оснащенную самыми лучшими современными астрономическими инструментами большую обсерваторию,

*) Говоря о последнем, мы имеем в виду исследования с помощью космических аппаратов.

расположенную на Марсе. Могут ли воображаемые марсианские астрономы, работающие на этой первоклассной обсерватории, доказать наличие жизни на Земле? С марсианского небосклона Земля казалась бы им очень яркой звездой, лишь немного уступающей по блеску Венере, наблюдаемой с Земли. Подобно Венере, она наблюдалась бы в разных фазах. Так как Земля более удалена от Солнца, чем Венера, условия ее наблюдений с Марса были бы более благоприятны, чем условия наблюдений Венеры с Земли. И все же воображаемым марсианским астрономам было бы очень трудно установить факт наличия на Земле жизни.

Несомненно, они наблюдали бы сезонные изменения цветов отдельных больших пространств на Земле, например массивов наших пахотных земель и лесистых стран умеренного пояса. Марсианские теоретики, однако, наверняка, придумали бы ряд гипотез, объясняющих такие изменения, и среди них была бы гипотеза о возможности жизни на Земле... Вряд ли они пришли бы на основе только таких наблюдений к выводу о наличии жизни на нашей планете, тем более — разумной жизни.

Регулярно наблюдая Землю в течение нескольких десятилетий, они несомненно заметили бы большие изменения на ее поверхности. Например, систематическое истребление лесов вряд ли осталось бы незамеченным. Однако определенных выводов они не смогли бы сделать. Ведь и на Марсе мы наблюдаем систематические и довольно большие изменения. Например, с поверхности этой планеты почти совсем исчезло известное образование, называемое Озером Солнца. Знаменитый Скиапарелли, открывший пресловутые «каналы Марса», наблюдал Озеро Солнца как резкое пятно почти круглой формы, однако через 3—4 десятилетия вместо резкого пятна можно было наблюдать довольно вытянутую группу темных пятен. Имеются и многочисленные свидетельства других изменений на поверхности красной планеты. Сами по себе такие изменения весьма интересны, но служить неопровержимыми доказательствами наличия жизни на планете они, конечно, не могут. Заметим, кстати, что на поверхности Луны, почти наверняка лишенной жизни, наблюдался ряд изменений, впрочем, значительно меньшего масштаба.

Можно ли с нашей воображаемой марсианской обсерватории наблюдать следы человеческой деятельности, например всякого рода искусственные сооружения — города, водоемы, плотины? Вряд ли, если учесть, что разрешающая способность телескопов такова, что деталей размерами меньше 100 *км* обнаружить нельзя. Ведь размеры искусственных сооружений меньше. Ночное освещение земных городов-гигантов: Нью-Йорка, Москвы, Токио, Парижа, Лондона, Чикаго — на пределе чувствительности аппаратуры, по-видимому, можно было бы обнаружить. Представим себе, что городская освещенность в 10 раз больше, чем от полной Луны, причем такая освещенность имеет место в области размером в 10 *км*. Тогда марсианские астрономы на темной стороне Земли (напомним еще раз, что Земля с Марса, подобно Луне с Земли, наблюдалась бы в

разных фазах) могли бы наблюдать звездочку 16-й величины. Однако вследствие рассеяния света от освещенной Солнцем части Земли вряд ли они смогли бы ее обнаружить.

Известный американский астроном Саган подверг более подробному рассмотрению вопрос о возможности наблюдать из космоса следы человеческой деятельности на Земле. Земля многократно фотографировалась из ближнего космического пространства с помощью фотографических камер, установленных на американских и советских спутниках. Например, специальная программа такого рода была выполнена на серии американских метеорологических спутников «Тирос» и «Нимбус». Для своего анализа американский ученый использовал результаты этих исследований. Иногда на таких фотографиях причудливые сочетания облаков (которыми покрыта большая часть Земли) создают иллюзию искусственных сооружений (рис. XIII). Через разрывы облаков иногда удается наблюдать значительные участки суши. Например, на рис. XV через такой большой разрыв виден восточный угол США, а на рис. XVI — южная оконечность Индостана и остров Цейлон. Куски суши, полученные на этих фотографиях, принадлежат к числу наиболее густо населенных областей земного шара, а на рис. XIV видна одна из наиболее развитых в технологическом отношении стран. И все же никаких следов деятельности человека, даже при самом тщательном анализе таких фотографий, обнаружить не удается. Заметим, что на этих фотографиях разрешаются детали в несколько километров.

Из сотен тысяч таких фотографий, полученных на спутниках серии «Тирос» с разрешением около 1 *км*, только одна выдает присутствие жизни на Земле (рис. XVI). На этой фотографии виден кусок Канадской территории в штате Онтарио. В верхнем левом углу снимка отчетливо видна система широких параллельных полос. Это следы лесозаготовок, запорошенные снегом, что увеличило контраст фотографии. Но разве эта совершенно уникальная (одна из сотен тысяч!) фотография могла дать повод для радикального вывода о жизни на Земле! Ведь марсианские астрономы легко могли бы придумать куда более естественные причины для объяснения регулярных деталей, видимых на этой фотографии (например, геологические причины).

Анализируя фотографии, полученные на этих спутниках, с еще более высоким разрешением (например, несколько сотен метров), Саган смог обнаружить несколько деталей, имеющих вид прямых линий. Хорошо, что он заранее знал, что одна такая деталь — это автострада в штате Теннесси. Ведь точно такая же деталь на другом снимке была получена от вполне естественного образования — узкой, прямой песчаной косы в Марокко... Итак, даже такое разрешение недостаточно для бесспорного обнаружения следов разумной деятельности человека на Земле.

Саган обращает также внимание на важный фактор, делающий наши гигантские города невидимыми из космоса: это грязная, не-

прозрачная атмосфера над такими городами — увы, продукт высокоразвитой цивилизации... Например, американские космонавты ни разу не могли наблюдать из космоса город-гигант Лос-Анджелес! Как говорится, тут комментарии излишни...

Заметим, однако, что существуют спутники специального назначения, позволяющие различать на поверхности Земли детали в несколько метров! Конечно, от таких спутников скрыть следы разумной жизни на Земле уже невозможно.

Такие явления, как ядерные взрывы в нижней атмосфере, которые — увы! — иногда происходят на Земле, безусловно были бы видны с Марса, как кратковременные очень яркие вспышки света. Все же, учитывая относительную редкость ядерных испытаний и быстроту протекания процесса взрыва, вероятность их обнаружения была бы крайне малой. Впрочем, создание специальной весьма оперативной «службы Земли» (подобно существующей у нас «службы Солнца») могло бы привести к успеху. Однако и в этом случае цивилизованные марсианские астрономы вряд ли сочли бы эти кратковременные вспышки света признаками жизни, тем более разумной. Даже мы, живя на Земле, никак не можем такие варварские эксперименты, имеющие конечной целью уничтожение всего живого на нашей прекрасной планете, считать проявлением какого бы то ни было разума...

Итак, очень непросто обнаружить прямые и явные признаки жизни даже на самой ближайшей планете. Впрочем, мы сейчас укажем на один способ такого обнаружения, логически бесспорный. Представим, что наша воображаемая марсианская обсерватория оснащена современными радиотелескопами — устройствами, позволяющими обнаружить и измерить радиоизлучением различных небесных тел. Марсианские астрономы, подобно земным, исследовали бы радиоизлучение планет. И тут они сделали бы одно потрясающее открытие: на метровом диапазоне волн наша скромная планета Земля посылает в пространство почти такой же мощности поток радиоизлучения, как и Солнце, в периоды, когда на нем нет пятен! Земля на этом диапазоне излучает в миллионы раз больше, чем Венера или Меркурий. Открытие это можно было бы сделать, применяя довольно «скромные» радиотелескопы. Дальнейшие исследования несомненно показали бы, что различные участки поверхности нашей планеты излучают неодинаково, так как была бы найдена периодическая зависимость радиоизлучения Земли от времени, вызванная ее вращением вокруг своей оси. Например, когда к Марсу были бы обращены Африка, Южная и Центральная Азия, уровень радиоизлучения падал бы, а когда Европа и Северная Америка — сильно возрастал. Однако, по-видимому, больше всего марсианских радиоастрономов удивило бы то обстоятельство, что несколько десятков лет назад Земля на метровых волнах излучала в миллион раз слабее. Анализируя все эти факты, умные марсиане поняли бы, правда далеко не сразу, что это радиоизлучение нельзя объяснить действием естественных сил природы, что оно может иметь только

искусственный характер. Значит, на Земле есть разумная жизнь! Что и говорить, это было бы замечательным открытием!

В чем же дело? В чем причина столь мощного радиоизлучения Земли? И не мистификация ли это вообще? Нет, мы далеки от попыток шутить на столь серьезную тему. Все описанное вполне соответствует действительности. На Земле имеется несколько тысяч телевизионных передатчиков. Если учесть среднюю мощность каждого такого передатчика (около 20 *квт*), ширину полосы частот, в которых происходит излучение, среднюю длительность работы каждого такого передатчика (скажем, 6 часов в сутки), а главное, что все волны телевизионного диапазона (1,5—6 *м*) совершенно беспрепятственно проходят через земную (так же, как и марсианскую) атмосферу, то мы получим именно ту картину, которую должны были бы наблюдать воображаемые марсианские астрономы.

Автор этой книги произвел соответствующий количественный расчет, на основе которого и была нарисована описанная выше картина марсианских радиоастрономических наблюдений *). Для специалистов, может быть, небезынтересно будет знать, что так называемая «яркостная температура» Земли на метровых волнах, обусловленная работой телевидения, близка к нескольким сотням миллионов градусов, что в сотни раз выше «радиояркости» Солнца на этих волнах в периоды, когда на его поверхности нет или почти нет пятен. Заметим еще, что, кроме телепередатчиков, на Земле есть огромное число радиостанций и прочих устройств, мощно излучающих в ультракоротковолновом диапазоне.

На этом примере мы впервые столкнулись с «космическим» характером жизнедеятельности разумных существ. Эта деятельность привела к тому, что по такой важной характеристике, как мощность и характер радиоизлучения, Земля стала разительно отличаться от всех остальных планет Солнечной системы. Несомненно, что космический характер деятельности есть существенный атрибут развития разумной жизни. В следующих главах этой книги мы уделим этому очень важному и интересному вопросу достаточно много места.

Но означает ли само по себе отсутствие мощного радиоизлучения на метровых волнах от Марса отсутствие там высокоразвитой разумной жизни? Вообще говоря, нет, потому что, несомненно, потери энергии, связанные с телевидением, рано или поздно будут сокращены. Ведь это же варварство, что подавляющая часть энергии, излученной телепередатчиками, бесполезно уходит в мировое пространство! Несомненно, что прогресс науки и техники приведет к тому, что электромагнитные волны будут идти по определенным каналам без ненужного рассеяния. Некоторые шаги в этом направлении уже делаются. Естественно предположить, что высокоразвитые разумные существа будут расходовать электромагнитную энергию не так расточительно, как мы сейчас.

---

*) Усредненная мощность земного радиоизлучения в метровом диапазоне, как можно подсчитать, близка к 1 *вт/гц*.

Таким образом, непосредственно обнаружить с достоверностью следы жизни на Земле наблюдениями с Марса весьма непросто. Можно, однако, для этого применить косвенные методы. Дело в том, что развитая жизнь на какой-нибудь планете является могучим фактором, преобразующим ее атмосферу и кору. Не случайно наружные слои нашей планеты, включающие также мировой океан и атмосферу, получили название «биосфера». Согласно исследованиям академика В. И. Вернадского (который ввел в науку само понятие «биосфера»), последняя начинается с глубины 3 *км* под поверхностью Земли и охватывает почти всю гидросферу и атмосферу. Он пришел к выводу, что все наружные слои земной коры переработаны жизнедеятельностью различных организмов на 99%. Практически весь кислород в земной атмосфере есть продукт фотосинтеза растений. Благодаря своей огромной химической активности атмосферный кислород непрерывно вступает в соединения с различными элементами земной коры. Если бы не непрерывное возобновление кислорода, обусловленное жизнедеятельностью растений, он полностью исчез бы из атмосферы всего лишь за несколько тысяч лет. Следует в этой связи обратить внимание на то, что главная роль в возобновлении атмосферного кислорода принадлежит не высшим растениям, а планктону, которым буквально «кишат» поверхностные слои мирового океана. Мы можем сделать вывод, что наличие свободного кислорода в атмосфере планеты является признаком того, что на планете имеется жизнь, создавшая биосферу.

Биосфера не только создает кислород в атмосфере планеты. Живые организмы, особенно бактерии, за сотни миллионов лет своей «кипучей деятельности» преобразили лицо нашей Земли. Они могут разлагать даже самые стойкие химические соединения, например алюмосиликаты и граниты, составляющие большую часть земной коры. Так постепенно образовалась почва. Причина деятельности живых организмов, преобразующей лицо планеты, кроется в процессах обмена веществ, являющихся неотъемлемым атрибутом жизни. Эти процессы представляют собой химические реакции весьма большого количества типов. Все это приводит к потенциально огромной способности живых существ к размножению. Основная тенденция развивающейся жизни — переработать как можно больше «неживого» вещества, чтобы этот «строительный» материал использовать для построения новых особей.

Если бы этот процесс не сталкивался с суровыми ограничениями, накладываемыми самой природой, прежде всего ограниченностью «строительных ресурсов», за какие-нибудь сутки масса живого вещества превзошла бы массу планеты. Количество живого вещества в земной коре, согласно подсчетам В. И. Вернадского, составляет примерно 10^{14}—10^{15} *т*. Это в несколько миллионов раз меньше массы земного шара и только в несколько тысяч раз меньше массы земной коры.

Коль скоро наши воображаемые марсианские наблюдатели обнаружили бы вокруг Земли мощную кислородную атмосферу, они

должны были бы с необходимостью сделать вывод о наличии на Земле жизни. Если бы количество свободного кислорода в атмосфере было ничтожно мало, так что его можно было обнаружить только на пределе чувствительности приборов, еще можно было бы выдвигать различные гипотезы о «небиогенном» присхождении земного кислорода. Впрочем, эти гипотезы были бы довольно сомнительны. Но такое огромное количество кислорода, которое наблюдается на Земле, можно объяснить только жизнедеятельностью организмов. Итак, химический состав земной атмосферы позволил бы наблюдателям марсианской обсерватории сделать со всей определенностью вывод, что жизнь на Земле существует.

Означает ли, однако, отсутствие в спектре планеты линий и полос, указывающих на наличие в ее атмосфере кислорода, что планета безжизненна? Вообще говоря, нет. Именно с таким случаем мы встречаемся при исследовании вопроса о возможности жизни на Марсе.

15

«Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе...»

После того как мы в предыдущей главе имели возможность убедиться, что обнаружить признаки жизни на какой-нибудь планете с расстояния, исчисляемого десятками миллионов километров,— задача далеко не простая, можно проанализировать существующие наблюдательные данные о планетах Солнечной системы для выяснения вопроса о возможной их обитаемости. В первую очередь мы остановимся на самой «перспективной» в этом отношении планете — Марсе.

Нет нужды приводить основные астрономические сведения о Марсе — они достаточно часто приводились в научно-популярной литературе. Интересующихся бо́льшими подробностями мы отсылаем к монографии В. И. Мороза «Физика планет» («Наука», 1967).

Прежде всего рассмотрим, что представляет собой марсианская атмосфера. Прямые спектроскопические наблюдения указывают, что в атмосфере присутствует углекислота CO_2 в количестве, примерно в 30 раз большем, чем в земной атмосфере.

Каков же химический состав марсианской атмосферы?

Углекислый газ является основной составляющей марсианской атмосферы — примерно 75%. Измерения, проведенные на советском космическом аппарате «Марс-6» показали, что остальные 25% — это некоторый инертный газ, скорее всего, аргон. Спускаемый аппарат межпланетной станции «Марс-6» достиг поверхности Марса 12 марта 1974 г. и во время спуска его на парашюте впервые были проведены прямые исследования марсианской атмосферы. Аргон, или, точнее, его изотоп с атомным весом 40, составляет, как известно, около 1% земной атмосферы. Он образуется непрерывно в результате радиоактивного распада изотопа K^{40}, находящегося в земной коре. Так как Марс и Земля по своим основным планетарным характеристикам (размеры, состав, плотность и т. д.) являются близкими родственниками, следует ожидать что этот же процесс должен приводить к появлению аргона и на Марсе. Поскольку азота и

кислорода в марсианской атмосфере очень мало, то аргон наряду с углекислым газом оказывается одной из главных компонент марсианской атмосферы.

До последнего времени не существовало сколько-нибудь надежных спектроскопических данных, указывающих на наличие в атмосфере Марса водяных паров. Однако в 1963 г. американские ученые Спинрад, Мюнх и Каплан уверенно обнаружили в спектре Марса очень слабые полосы водяного пара. Из этих наблюдений следует, что количество водяных паров в атмосфере Марса составляет около 10^{-3} *г/см*², что в сотни раз меньше среднего содержания водяных паров в земной атмосфере. Отсюда можно сделать вывод, что его атмосфера отличается исключительной сухостью.

Еще недавно большинство астрономов считало, что так называемые «полярные шапки» Марса суть не что иное, как иней, покрывающий большие области около полюсов планеты. Однако в настоящее время вся совокупность данных наблюдений говорит о том, что «полярные шапки» — это, главным образом, сухой лед, т. е. затвердевшая углекислота CO_2. Так как ось вращения Марса наклонена к плоскости его орбиты почти на такой же угол, что и Земля, там наблюдается смена времен года. Вообще говоря, климат Марса отличается большой суровостью. Средняя температура поверхности этой планеты приблизительно на 40° ниже, чем на Земле. В течение суток температура почвы колеблется на 60—80°. Амплитуда годичных колебаний в полярных областях достигает 100—120°, в то время как в экваториальных она равна 30°. Температура полярных областей достигает — 60°.

Следует иметь в виду, что в отдельных областях поверхности Марса микроклимат может существенно отличаться в лучшую сторону от описанных выше весьма суровых «средних» условий. Например, благодаря вулканической активности там могут быть области с более высокой температурой и сравнительно большим содержанием водяных паров. В таких областях условия для развития жизни могут быть, конечно, более благоприятными.

В 1964 г. Синтон и Стронг опубликовали результаты наблюдений Марса в инфракрасных лучах (длины волн 7—13 *мк*). На этих волнах наблюдается в основном тепловое излучение поверхности планеты, в то время как на более коротких волнах Марс светит преимущественно отраженным солнечным излучением.

Наблюдения Синтона и Стронга производились при помощи большого телескопа обсерватории Маунт Паломар с зеркалом диаметром в 5 *м*. Это дало возможность исследовать инфракрасное излучение от отдельных участков поверхности планеты. По интенсивности инфракрасного излучения можно было вычислить температуру соответствующих областей в разное время марсианских суток. Температуры поверхности Марса (°C) для разных широт и моментов марсианских суток приведены в табл. 5, из которой видна огромная разница между утренней и дневной температурами. Интересно, что около местного марсианского полдня температура поверхности планеты дос-

ТАБЛИЦА 5

Широта, *град*	Часы марсианского времени					
	7	8	11	12	13	14
+14	−78	−21	+10	+16	+14	+ 8
+10	−64	−19	+13	+26	+28	+15
+ 8	−54	−11	+18	+26	+23	+20
− 2	−64	−16	+16	+22	+22	+ 7
− 8	−55	−10	+19	+20	+20	+14
−12	−42	− 6	+18	+18	+18	+ 8

тигает +28°. В то же время температура воздуха на Марсе, даже у самой его поверхности, очень низка и всегда ниже нуля. Уже на высоте около 15 *км* температура падает даже в экваториальных областях до —100°.

Новую эру в исследованиях Марса открыли американские и советские автоматические межпланетные станции «Маринер» и «Марс» (рис. 39), которые, начиная с 1962 г., планомерно посылались к Марсу. Впервые автоматическая станция «Маринер-4» передала на Землю фотографии поверхности этой планеты, полученные со сравнительно близкого расстояния (~10 000 *км*). Эти фотографии выявили на поверхности Марса огромное количество кратеров самых различных размеров. Любопытно отметить, что только один астроном на Земле довольно давно предсказал, что поверхность Марса должна быть покрыта кратерами. Это был выдающийся эстонский астроном Эпик, ныне работающий в Ирландии. Однако на это предсказание не было обращено должного внимания. Для всего «астрономического мира» открытие кратеров на поверхности Марса было полной неожиданностью...

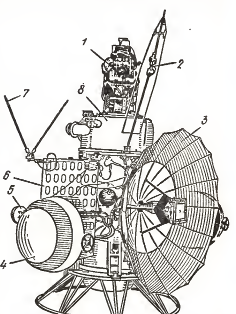


Рис. 39. Автоматическая межпланетная станция «Марс-1».

1 — корректирующая двигательная установка; *2* — штырь магнитометра; *3* — остронаправленная антенна; *4* — радиатор системы терморегулирования; *5* — малонаправленная антенна; *6* — панели солнечных батарей; *7* — всенаправленная антенна; *8* — орбитальный отсек.

Важные результаты в съемках поверхности Марса были достигнуты в конце 1971 г. американской автоматической станцией

«Маринер-9». Поначалу съемкам сильно мешала огромной силы пылевая буря, на много недель закрывшая непроницаемой мглой поверхность планеты. Это дало повод организаторам полета «Маринер-9» для веселых шуток (рис. 40).

Когда буря утихла, «Маринер-9» выполнил высококачественную «космофотосъемку» поверхности Марса, охватывающую 80% его поверхности. Некоторые из переданных на Землю фотографий поверхности Марса приведены на рис. XVIII *а—в*.

Выдающийся успех был достигнут советскими автоматическими станциями «Марс-2» и «Марс-3», выведенными на орбиту вокруг

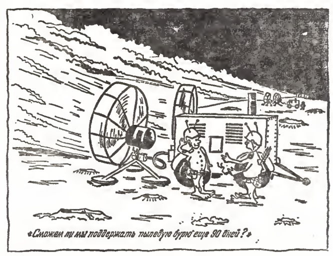


Рис. 40. Шуточная картина по поводу пылевой бури на Марсе.

Марса практически одновременно с «Маринером-9». На советских автоматических станциях основное внимание было уделено детальному исследованию поверхности Марса и его атмосферы в разных спектральных диапазонах. Заметим, что и американские «Маринеры» также уделили этой части программы большое внимание.

В 1974 г. четыре советские автоматические межпланетные станции — «Марс-4», «Марс-5», «Марс-6» и «Марс-7» — продолжили программу изучения Марса. В результате этих исследований природа марсианской атмосферы значительно прояснилась. Приводим основные результаты этих измерений, не останавливаясь на технических подробностях. Мы сюда включили также результаты наземных наблюдений, выполненные самыми совершенными методами на крупнейших телескопах.

Прежде всего, как это было показано во время полетов «Маринера-6» и «Маринера-7» в 1969 г., в атмосфере Марса почти нет азота, во всяком случае его там меньше 5% от полного количества газов в атмосфере! Это открытие было большой неожиданностью. До этого

многие годы предполагалось, что так же, как и на Земле, азот должен быть в атмосфере Марса основной составляющей. Сейчас уже ясно, что атмосфера Марса более чем на 50% состоит из углекислого газа CO_2. Свободного кислорода в атмосфере Марса пока не обнаружено — во всяком случае, его там меньше, чем 1% от углекислого газа.

Наземные наблюдения уверенно выявили присутствие в атмосфере Марса окиси азота CO, известной под названием «угарного газа». Относительная доля молекул CO составляет около одной десятитысячной от количества CO_2.

Наземные спектроскопические наблюдения совсем недавно позволили обнаружить, что в атмосфере Марса примерно в таких же количествах присутствует и молекулярный кислород. По-видимому, молекулярный кислород и окись углерода возникают в результате единого процесса — фотохимического разложения молекул углекислого газа. Оно происходит в относительно высоких слоях атмосферы, но продукты его могут переноситься вниз.

Таким образом, мы приходим к выводу, что атмосфера Марса не только количественно, но и качественно радикально отличается от земной атмосферы.

Установленные на советских автоматических станциях «Марс-3» и «Марс-5» «индикаторы влажности» — особая аппаратура, чувствительная к инфракрасным лучам, поглощаемым водяными парами,— позволили надежно найти распределение паров H_2O над поверхностью Марса. Выяснилось, что это распределение весьма неравномерно, колеблясь от неизмеримо малой величины до 100 *мк* осажденной воды.

Среднее значение полного давления марсианской атмосферы близко к 0,006 земного атмосферного давления (около 5 *мм* рт. ст.). Эта величина оказалась значительно ниже принимавшегося раньше значения. Вообще следует заметить, что на протяжении последних двух десятилетий наблюдалась тенденция к непрерывному снижению давления марсианской атмосферы. Так, например, известный исследователь Марса де Вокулер около 20 лет тому назад вывел значение для давления атмосферы Марса 65 *мм* рт. ст. По наблюдениям, выполненным во время противостояния Марса в 1963 г., было найдено, что давление Марса составляет только 20 *мм* рт. ст. И вот сейчас оно принимается еще в 4 раза меньшим! Такое низкое давление достигается на Земле только на высоте 30 *км* над уровнем моря.

Следует, однако, заметить, что на поверхности Марса наблюдаются огромные перепады высот, до 25 *км*. По этой причине величина атмосферного давления на поверхности Марса сильно зависит от высоты того или иного участка. Есть места (впадины), где атмосферное давление почти вдвое больше среднего, есть и такие высокогорные области, где давление вдвое меньше среднего. Конечно, удивительного в этом нет ничего. Вообразим себе, что у нас на Земле исчез мировой океан. Тогда разность высот между океанскими впадинами и высокогорными плато была бы 7—10 *км*. Конечно, разница в высоте

между вершинами Гималаев и отдельными узкими провалами в океане типа Филиппинской или Марианской впадин составляет около 20 *км*. Но это, так сказать, «экстремальные» значения перепадов высот. Очень возможно, что на Марсе будут найдены разные малые области с еще большей разностью высот. Но в целом степень «изрытости» поверхности Марса (в смысле отклонения от идеальной сфероидальной формы) значительно больше, чем на Земле, что, по-видимому, объясняется меньшим значением силы тяжести на этой планете.

Специальный интерес представляет строение верхней атмосферы Марса. На высоте около 300 *км* основной составляющей атмосферы является атомарный кислород. Несомненно, это объясняется фотодиссоциацией углекислого газа (плотность второго и более тяжелого ее продукта, CO, падает быстрее с высотой, чем плотность O). Начиная с высоты около 400 *км* преобладающей компонентой марсианской атмосферы становится атомарный водород H. На этой высоте в каждом кубическом сантиметре содержится около 10 000 атомов водорода. Следует ожидать, что здесь содержится примерно такое же количество гелия, однако на расстояниях в несколько тысяч километров атмосфера должна уже состоять практически из чистого водорода. Чисто водородная внешняя атмосфера Марса прослеживается вплоть до огромных расстояний в 20 000 *км*, образуя своего рода «корону». Аналогичная водородная «корона» окружает Землю, а также Венеру. Водородная корона Марса была исследована на американских и советских автоматических станциях с помощью специальных приемников, чувствительных к излучению в резонансной линии водорода «Лайман альфа». Это излучение возникает при рассеянии солнечных ультрафиолетовых квантов атомами водорода, находящимися в верхней атмосфере Марса. По той же причине эту линию излучают атомы водорода в верхней атмосфере Земли и Венеры.

Так же, как и в случае верхней атмосферы Земли, атомы водорода в верхней атмосфере Марса должны «улетучиваться» (или, как говорят, «диссипировать») в межпланетное пространство. Поэтому должен быть непрерывно действующий источник их пополнений.

Таким источником может быть только диссоциация водяных паров в более глубоких слоях марсианской атмосферы. Оказывается, что даже того скромного количества паров H_2O, которое там имеется, вполне достаточно для этой цели.

Таким образом, климат Марса и его атмосфера не очень-то благоприятствуют развитию жизни на нем, хотя, конечно, не исключают ее возможности. Уместно в этой связи напомнить, что в Антарктиде люди живут при температурах марсианских полярных областей. Там зарегистрирована самая низкая температура на Земле — 82°. Конечно, человек в Антарктиде создает свою искусственную биосферу. Все же возможности приспособлений организмов к суровым природным условиям весьма велики. Следовательно, сама по себе суровость климатических условий на Марсе не исключает возможности наличия на нем жизни.

Кроме того, в последние годы серьезно обсуждается возможность резких колебаний климатических условий на Марсе в течение его «геологической» (лучше сказать, «ареологической») истории. Одна из полярных шапок Марса, а именно северная, не исчезает целиком в летний период, и в ней могут быть сконцентрированы в твердом состоянии количества углекислого газа, значительно бо́льшие, чем в атмосфере. Допустим, что небольшое потепление в северном полушарии приведет к более сильному испарению северной шапки. При этом плотность атмосферы возрастет; вследствие парникового эффекта (см. гл. 16) возрастет и ее температура. Это приведет к еще более сильному испарению шапки и процесс может закончиться ее полным исчезновением. В этом случае давление в марсианской атмосфере станет того же порядка, что и в земной, температуры на планете возрастут, оттаявший грунт освободит значительные количества жидкой воды. На планете образуются водоемы, потекут реки.

На рис. XIX приведена фотография участка Марса, полученная советской АМС «Марс-5». На ней отчетливо видна извивающаяся линия, очень похожая на русло реки. Такие образования найдены на Марсе в значительном количестве. Характерная структура, форма, наличие «притоков», наносов и т. д.,— все указывает на то, что мы имеем здесь дело с настоящими сухими руслами. Трудно оценить их возраст, скорее всего, он достигает миллионов лет. Конечно, с «геологической» точки зрения этот возраст не велик. Наличие «сухих русел» является аргументом в пользу того, что на Марсе в прошлые геологические эпохи была более плотная атмосфера и более мягкий климат, пригодный даже для земных форм жизни.

На поверхности Марса видны отдельные темные пятна — так называемые «моря», хотя ничего общего с земными морями они не имеют. В этом отношении эти образования вполне подобны лунным морям. Как показывают тщательные телескопические наблюдения, выполненные знаменитым французским астрономом Лио, у марсианских морей имеются в большом количестве отдельные структурные детали и пятна различной окраски. Эти пятна отличаются большой изменчивостью. Преобладающие тона окраски марсианских морей — оливковые, зеленоватые и даже синеватые. Более обширные пространства на поверхности Марса, окружающие моря, имеют серовато-красноватый цвет. Они получили название «пустынь». Возможно, что это название в какой-то степени отражает их природу.

Когда в каком-нибудь из полушарий Марса наступает весна, полярная шапка начинает довольно быстро уменьшаться в размерах (рис. XX). На ее краях появляется темная кайма шириной в несколько сотен километров. Волна «потемнения» распространяется в сторону более низких марсианских широт. При этом отдельные детали морей заметно темнеют. С наступлением осени волна потемнения начинает перемещаться в обратном направлении. На первый взгляд естественно связать описанные только что сезонные изменения деталей на поверхности Марса с увлажнением его почвы.

Систематические сезонные изменения цвета морей Марса от сероватых к зеленоватым тонам раньше многие исследователи связывали с сезонными изменениями окраски марсианской растительности. С другой стороны, ряд авторов считает, что сезонные изменения окраски морей вызваны изменениями цветов заключенных в почве Марса солей при повышении влажности почвы. Таким образом, сами по себе сезонные изменения цвета отдельных деталей на поверхности Марса еще не говорят о наличии там растительного покрова. Точно так же отсутствие или наличие слабого провала в спектре около длины волны 0,5 *мк*, которое может быть обусловлено хлорофиллом, решительно ничего не говорят о наличии или отсутствии жизни на Марсе. Такого провала в спектре Марса не обнаружено. Но еще Г. А. Тихов — большой энтузиаст идеи обитаемости Марса — показал, что под влиянием суровых природных условий полоса поглощения хлорофилла может сильно измениться. Даже небольших вариаций в структуре боковых ветвей молекулы хлорофилла (которые вполне возможны) достаточно, чтобы сильно изменить его спектрально-отраженные свойства.

Многие астрономы вообще считают, что никакой жизни на Марсе в настоящее время нет. В частности, такой радикальной точки зрения держался американский астроном Мак Лофлин. Согласно его гипотезе темные моря Марса — результат вулканической активности этой планеты. Моря, по Мак Лофлину,— отложения вулканического пепла на больших участках поверхности планеты. Он нашел, что очертания этих морей хорошо согласуются с направлениями ветров в атмосфере Марса. Гипотеза Мак Лофлина довольно хорошо объясняет вековую (т. е. не сезонную) изменчивость деталей на поверхности планеты. Точно так же непринужденно объясняется темная окраска морей химическими процессами, происходящими в неокисленной, слабо увлажненной атмосфере Марса. Сезонные изменения окраски морей объясняются изменениями в направлении ветров, а также изменениями влажности и температуры. До недавнего времени серьезным возражением против гипотезы Мак Лофлина считалась предполагаемая им сильная вулканическая деятельность на Марсе. Однако открытие Н. А. Козыревым вулканического извержения на, казалось бы, мертвой «во всех отношениях» Луне уже не делает это возражение сколько-нибудь серьезным. Мы слишком мало еще знаем о природе тектонической активности планет, в частности Марса, чтобы только на этом основании оспаривать справедливость той или иной гипотезы.

Вулканическая деятельность на Марсе в активной форме пока не обнаружена, однако конические горы вулканического происхождения найдены. Одна из них так велика, что в виде яркой точки видна с Земли («Nix Olimpica»—«снега Олимпа»). Фотографии, полученные с орбиты «Маринера-9», показали, что эта скромная яркая точка представляет собой конус диаметром около 500 *км* и высотой 20 *км*, увенчанный огромным кратером. Это самый большой вулкан в Солнечной системе (рис. XXI).

Имеется, однако, другой любопытный тип сезонных изменений на поверхности Марса, о котором мы еще пока не говорили. Согласно наблюдениям французского астронома Дольфюса, поляризация света, отраженного от темных марсианских морей, зависит характерным образом от времени года. Интересно, что у марсианских пустынь этого не наблюдается. Эти изменения поляризации можно попытаться объяснить, предположив, что имеет место рассеяние солнечного света частицами диаметром около 0,1 *мм*, причем эти частицы периодически меняют свои размеры или поглощательную способность.

Напрашивается объяснение поляризационных изменений марсианских морей, состоящее в том, что там имеются огромные колонии быстро размножающихся организмов (например, бактерий). К сожалению, это объяснение не единственно возможное. Пожалуй, более вероятно предположение, что поверхность Марса покрыта мелкими твердыми песчинками, увеличивающимися в своих размерах при повышении влажности атмосферы. Пока неясно, как можно объяснить поляризационные измерения Дольфюса в рамках гипотезы Мак Лофлина.

В свое время много шума произвел новый метод для решения вопроса о возможности существования жизни на Марсе. В инфракрасном спектре Марса Синтон как будто обнаружил полосу поглощения в области 3,4—3,7 *мк*. Очень интересно, что эта полоса наблюдается только в спектре темных морей и совершенно отсутствует в спектрах пустынь. Известно, что такие полосы поглощения характерны для многих органических соединений. В дальнейшем, однако, выяснилось, что наблюдения Синтона были ошибочны. Но если даже считать, что обнаруженные в спектре Марса полосы в области длин волн 3,4—3,7 *мк* действительно принадлежат некоторым органическим молекулам, то отсюда еще нельзя сделать вывод, что на Марсе обнаружена жизнь.

Как мы видели в гл. 13, органические молекулы, пусть даже сложные,— это еще не жизнь. Вполне возможно, что на поверхности Марса имеются органические соединения. Такие соединения могли образоваться, когда на Марсе еще была первобытная атмосфера. Если предположить, что жизнь на Марсе по каким-либо причинам не смогла возникнуть, то это будет означать, что в его атмосфере никогда не было достаточного количества кислорода. Следовательно, не было процессов окисления образовавшихся органических молекул и они могли оставаться как бы в «законсервированном состоянии» до настоящего времени. Правда, такая «консервация» вряд ли была бы возможна, если бы до поверхности Марса доходили губительные ультрафиолетовые лучи Солнца. Однако вопрос о прозрачности марсианской атмосферы в ультрафиолетовой части спектра еще далеко не ясен. Попутно заметим, что при беспрепятственном падении на поверхность Марса ультрафиолетовой радиации *) становится

*) В марсианской атмосфере практически отсутствует кислород, а следовательно и озон, который экранирует ультрафиолетовое излучение в области 2000—3000 Å.

довольно проблематичной сама возможность существования там жизни.

Таким образом, известная сентенция нашего популярного киноактера Филиппова: «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе — это пока науке неизвестно» — оказывается не такой уж далекой от истины. Правда, вся совокупность изложенных фактов заставляет считать существование живых организмов на этой интереснейшей планете маловероятным. Окончательно этот вопрос будет выяснен новыми наблюдениями и экспериментами.

Мягкая посадка на поверхность Марса спускаемого аппарата советской АМС «Марс-3», впервые осуществленная в конце 1971 г., открывает как будто единственную в своем роде возможность непосредственно решить вопрос об обитаемости Марса.

И все же, как нам представляется, такими «прямыми» методами вопрос о наличии или отсутствии жизни на Марсе в настоящее время решить нельзя. Точнее, для этого еще не наступило время. Гораздо важнее более общая постановка вопроса: есть ли на Марсе биосфера? Наличие последней несомненно указало бы на существование жизни. Как будто вся совокупность фактов, касающихся атмосферы и поверхности Марса, не оставляет места для биосферы. Но может быть, жизнь там, что называется, «еле теплится» и ее мощность не в состоянии создать заметную биосферу, как это случилось у нас на Земле? Будем поэтому надеяться, что не за горами тот день, когда ответ на сакраментальный вопрос «есть ли жизнь на Марсе» будет получен.

Представим себе, что в комплексе оборудования станции имеется банка с питательной средой. После благополучной посадки на поверхность планеты банка автоматически откроется и тотчас же закроется. Если в атмосфере Марса, подобно земной, имеются бактерии, они могут начать размножаться в питательной среде, произведя там некоторые характерные изменения. Например, питательная жидкость из-за большого количества размножившихся там бактерий может сильно помутнеть. Некоторое автоматически работающее оптическое устройство может такое помутнение зарегистрировать и передать информацию по телеметрии на далекую Землю.

Быть может, ответ на вопрос, «есть ли жизнь на Марсе», будет получен с помощью специального американского космического аппарата, запущенного в сторону Марса в августе 1975 г. Основная задача этого аппарата — мягкая посадка на поверхность красной планеты специальной капсулы «Викинг». Установленная на этой капсуле высокочувствительная хроматографическая аппаратура позволит выполнить тонкий химический анализ марсианской почвы и припочвенного слоя атмосферы. Кто знает, может быть при этом удастся обнаружить следы примитивной жизни.

Осуществление этого эксперимента, такого ясного по идее, встречается, однако, с большими трудностями. И, на наш взгляд, самая большая трудность состоит в следующем: станут ли марсианские бактерии кормиться земной питательной средой? А вдруг марсиан-

ские живые организмы имеют белковые молекулы с правой симметрией? Тогда они, по-видимому, не смогут усваивать «левые» молекулы питательной среды. Или, представим себе, что у марсианских организмов белки образованы из совершенно других аминокислот (см. гл. 13). Смогут ли они в этом случае усваивать земную питательную среду? Вообще следует подчеркнуть, что 90% земных бактерий не реагируют ни на какую искусственную питательную среду. Что же можно ожидать от марсианских бактерий? Пожалуй, более надежным было бы доставить на поверхность Марса автоматически работающий микроскоп, который анализировал бы пробы марсианского вещества на содержание в нем микроорганизмов, а информацию передавал бы на Землю по телеметрии. Кто знает, может быть, такой проект и будет когда-нибудь реализован. Радикальным решением вопроса была бы высадка космонавтов-исследователей на поверхность Марса. Можно полагать, что это знаменательное событие произойдет в восьмидесятых годах нашего столетия.

16

Возможность жизни на других телах Солнечной системы

Нам остается обсудить вопрос о возможности жизни на Венере, а также на некоторых планетах Солнечной системы. Долгое время Венера рассматривалась астрономами, а больше — литераторами как идеальная обитель жизни.

Казалось бы, все необходимые условия для развития жизни на этой планете имеются. Ее размеры, масса, напряжение силы тяжести почти такие же, как и на Земле. Она покрыта пеленой облаков (из-за которых никогда не видна ее поверхность) и окружена мощной (по выражению М. В. Ломоносова, «знатной») атмосферой. Венера купается в лучах Солнца. Ведь поток солнечного излучения через единицу ее поверхности почти в два раза больше, чем на Земле.

Увы, чем больше мы изучаем нашу космическую соседку, тем менее вероятны предположения о наличии там каких бы то ни было форм жизни. Как это ни покажется парадоксальным, исключительно суровые природные условия на поверхности Марса значительно более благоприятствуют развитию там жизни, чем на заведомо теплой (к сожалению, слишком теплой) Венере.

Прежде всего, в последние годы было показано, что Венера вращается вокруг своей оси значительно медленнее Земли и Марса. Проблемой определения периода вращения Венеры астрономы занимаются уже много десятилетий.

Вращение планеты должно вследствие эффекта Доплера приводить к смещению фраунгоферовых линий в спектре отраженного солнечного света. Его величина соответствует периоду вращения около 4 суток. Другой способ сводится к определению скорости перемещения слабых деталей, видимых на ультрафиолетовых фотографиях планеты. Он также дает период около 4 суток. Однако все эти наблюдения относятся к довольно высоким областям атмосферы, около 70 *км* над поверхностью, и на самом деле дают не скорость вращения твердого тела планеты, а просто среднюю скорость ветра, перемещающего венерианские облака по линиям, приблизительно параллельному экватору. Картина этих движений была довольно

детально изучена в результате фотографирования Венеры с близкого расстояния, проведенного на американском космическом аппарате «Маринер-10» (рис. XXII).

Истинную скорость вращения планеты позволяет определить только радиолокационный метод. Общеизвестно, что таким методом по времени запаздывания отраженного от планеты радиоимпульса можно с большой точностью определить расстояние до нее.

Изучая, однако, характер отраженного сигнала, можно получить еще дополнительную информацию о свойствах планеты. Если посылаемый на Венеру радиоимпульс сосредоточен в очень узком интервале частот (или, как говорят в радиотехнике, является «узкополосным»), то у отраженного сигнала интервал частот, вообще говоря, увеличивается. В самом деле, благодаря вращению планеты примерно половина излучения будет отражаться от той ее стороны, которая в данный момент движется от наблюдателя, а половина — от той стороны, которая движется к наблюдателю. Из-за явления Доплера это приведет к соответствующему уменьшению и увеличению частот отраженного сигнала. Так как мы можем анализировать только полный импульс, отраженный от всей поверхности планеты (а не, скажем, от ее правой части), то, очевидно, интервал частот, в котором сосредоточено отраженное излучение, будет больше, чем у посылаемого радиоимпульса. Он будет тем больше, чем больше скорость вращения планеты.

Именно такие эксперименты были поставлены, начиная с 1961 г., в СССР и США, но первая попытка не привела к однозначным результатам. Было установлено, однако, что период вращения Венеры не менее 10 дней и есть большая вероятность, что этот нижний предел следует поднять до 190 дней. Так как период обращения этой планеты вокруг Солнца равен 225 дням, то можно было ожидать, что периоды вращения вокруг ее оси и обращения вокруг Солнца одинаковы. Именно это наблюдается, например, у Луны. Однако действительность оказалась более «богатой». Недавние американские и советские радиолокационные наблюдения привели к удивительному результату: направление вращения Венеры обратное (по сравнению с направлением вращения других планет, в частности Земли), а период вращения — 243 дня, причем ось вращения перпендикулярна к плоскости ее орбиты. По этой причине воображаемый наблюдатель, находящийся в каком-нибудь пункте поверхности Венеры, видел бы восход и заход Солнца всего лишь два раза в году (разумеется, венерианском). Ясно, что это не благоприятствует развитию жизни на планете, хотя, конечно, не исключает полностью такую возможность.

Большое значение для проблемы обитаемости Венеры имеет вопрос о температуре ее поверхности. До последнего времени астрономическими методами можно было определить температуру только вершины облачного слоя, сплошной пеленой окутывающего поверхность планеты. Эта температура оказалась довольно низкой: около —40°С. Однако очевидно, что никаких выводов о температуре

поверхности Венеры отсюда нельзя сделать. Даже высота облачного слоя над поверхностью планеты была неизвестна.

Крупнейшим достижением радиоастрономии было измерение температуры поверхности Венеры. Такое измерение оказалось возможным потому, что для радиоволн облака этой планеты почти прозрачны. Поверхность планеты, как всякое нагретое тело, излучает электромагнитные волны, в частности радиоволны. Из физики известно, что мощность теплового излучения нагретого тела совершенно определенным образом зависит от его температуры. Поэтому, измерив поток радиоизлучения от планеты, можно в принципе путем

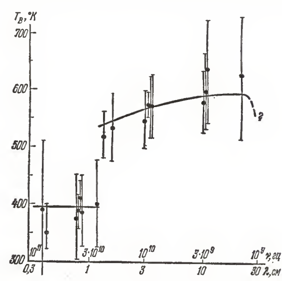


Рис. 41. Радиоспектр Венеры. Вертикальные черточки — ошибки наблюдений.

простых вычислений найти температуру ее излучающей поверхности. Правда, на практике задача оказывается значительно более сложной. Ведь существуют и другие физические процессы, которые могут привести к довольно мощному радиоизлучению, например грозовые разряды в атмосфере планеты. Но, производя наблюдения на разных волнах радиодиапазона, можно доказать, что радиоизлучение действительно является тепловым. Это будет верно в том случае, если на всех волнах эквивалентная температура (определяемая по потоку радиоизлучения на соответствующей волне) окажется одинаковой.

На рис. 41 приведены результаты измерений эквивалентной радиотемпературы Венеры на разных волнах. Вертикальные черточки, как обычно, указывают на вероятные ошибки измерений. Кроме того, измерялась зависимость эквивалентной температуры от фазы планеты. Выводы из радиоастрономических наблюдений Венеры можно сформулировать следующим образом: 1) в очень широком

диапазоне длин волн от 1,3 до 20 *см* эквивалентная радиотемпература Венеры находится в пределах 550—600 °К; 2) на миллиметровых волнах эквивалентная температура значительно ниже и близка к 400 °К. Переход от одной температуры к другой происходит почти скачкообразно где-то около длины волны 1,3 *см*.

Наиболее вероятное объяснение радиоастрономических данных состоит в следующем. На волнах более 1,3 *см* атмосфера Венеры прозрачна. Поэтому измеренная радиотемпература есть температура поверхности планеты, которая, как оказывается, необыкновенно высока. Уменьшение эквивалентной температуры Венеры на волнах миллиметрового диапазона объясняется поглощением углекислого газа CO_2.

Изучение зависимости эквивалентной температуры Венеры от фазы планеты позволило сделать вывод, что разница ночных и дневных температур сравнительно невелика.

Эти результаты оказались для астрономов довольно неожиданными. Однако ничего сверхъестественного в столь высокой температуре Венеры нет. Представим себе, что в атмосфере Венеры содержится газ, сравнительно прозрачный для видимого излучения Солнца и почти непрозрачный для инфракрасного теплового излучения планеты. В этом случае отвод тепла от поверхности планеты будет сильно затрудняться, и даже та относительно небольшая доля солнечных лучей, которая проникает сквозь облачный слой, сможет нагреть поверхность до высокой температуры. Это явление часто называют «парниковым эффектом», хотя этот термин не совсем точно отражает суть дела.

Парниковый эффект создается в результате поглощения в полосах углекислого газа и некоторых других молекул, таких как H_2O, которые в атмосфере Венеры присутствуют в сравнительно небольшом количестве, но сильно поглощают инфракрасное излучение. Впрочем, вопрос о значении парникового эффекта для объяснения высокой температуры Венеры пока остается открытым (см. ниже).

Выдающиеся результаты были получены на советских автоматических станциях «Венера-4», (рис. 42) «Венера-5» и «Венера-6». Историческое значение имеет мягкая посадка спускаемого аппарата на поверхность Венеры, выполненная во время полета автоматической станции «Венера-7» и «Венера-8». Учитывая очень трудные условия, при которых был осуществлен этот блестящий эксперимент (огромная величина атмосферного давления на Венере, высокая температура), его следует отнести к числу крупнейших достижений современной космонавтики. В процессе мягкой посадки производились прямые измерения основных характеристик венерианской атмосферы — температуры и давления, которые по телеметрическому каналу передавались на Землю. Таким образом удалось получить «разрез» атмосферы этой планеты, что имеет выдающееся научное значение. Американцы также продолжали исследования Венеры с помощью автоматических станций.

В результате мы сейчас достаточно хорошо знаем физические условия в атмосфере и на поверхности этой планеты, бывшей до сравнительно недавнего времени едва ли не самым загадочным членом

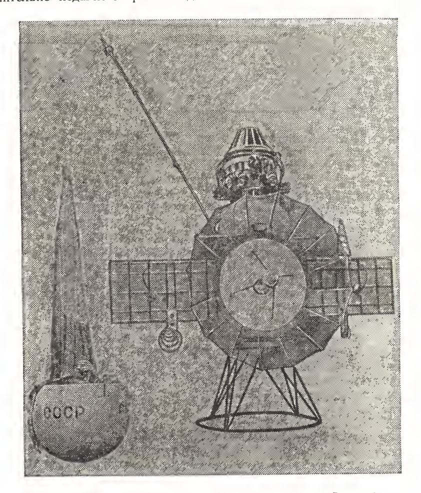


Рис. 42. Автоматическая межпланетная станция «Венера-4». Слева — спускаемый аппарат.

Солнечной системы. Кратко изложим теперь основные результаты этих исследований.

Атмосфера Венеры на 97% состоит из молекул углекислого газа CO_2. Обнаружено некоторое количество водяных паров (около 0,05% по атмосфере в среднем).

Кроме того, как это следует из последних наземных наблюдений, в атмосфере Венеры обнаружены сравнительно незначительные примеси газов CO (0,01%), HCl ($6\cdot10^{-5}$%), HF ($5\cdot10^{-7}$%). Очень важ-

ным является результат, полученный на советских автоматических станциях: количество молекулярного азота плюс благородные газы не превышает 5%. Таким образом, эти компоненты атмосферы, столь существенные на Земле, в атмосфере Венеры играют заведомо второстепенную роль.

Давление у поверхности планеты достигает гигантского значения около 100 атмосфер! Измерения на станции «Венера-7» показали, что температура атмосферы у поверхности Венеры около 480 °С. Интересно, что высота тропопаузы и верхней границы облачного слоя Венеры составляет около 70 *км*. Фотометр, установленный на «Венере-8», показал, что облачный слой хорошо пропускает рассеянное солнечное излучение — освещенность на поверхности всего лишь в несколько десятков раз меньше, чем над облаками.

По-прежнему большой интерес представляет вопрос о составе частиц облачного слоя Венеры. Следует заметить, что, несмотря на все успехи в исследованиях этой планеты, нам пока еще не известно, из чего состоят ее облака. Соблазнительная возможность считать, что частицами, образующими облака Венеры, являются льдинки (так же, как в случае земных облаков), не проходит. Этому противоречат спектральные и поляризационные наблюдения. Было отмечено, что этим наблюдениям удовлетворяет предположение, по которому венерианские облака состоят из сферических частиц, образуемых водным раствором серной кислоты. Облако из серной кислоты?... Будущие прямые измерения несомненно раскроют тайну облаков Венеры, как они уже раскрыли то, что эти облака закрывали, казалось бы, непроницаемой завесой.

1975 год ознаменовался новым выдающимся достижением советской космонавтики. Автоматические межпланетные станции «Венера-9» и «Венера-10» были выведены на орбиту вокруг Венеры и стали искусственными спутниками этой планеты. Спускаемые аппараты этих станций совершили мягкую посадку на поверхность Венеры. Пожалуй, самым впечатляющим результатом этих экспериментов является получение панорамных фотографий поверхности Венеры, отличающихся удивительной отчетливостью.

Большой вклад в изучение ближайших к Солнцу планет — Венеры и Меркурия — был сделан запущенной в 1973 г. американской автоматической станцией «Маринер-10». Очень интересна орбита этого объекта. Аппарат был выведен на орбиту полета к Венере и пролетел от нее на расстоянии около 6000 *км*. При этом притяжение Венеры снизило орбитальную скорость «Маринера-10», в результате чего он попал на орбиту Меркурия (рис. 43). С тех пор он три раза проходил вблизи Меркурия, причем последний раз зимой 1974—1975 гг. на рекордно малом расстоянии около 200 *км*. Впервые были получены и переданы на Землю сотни изображений поверхности планеты исключительно высокого качества (см. рис. 51).

Первое впечатление от этих фотографий такое, будто на них изображена Луна. Поверхность Меркурия испещрена кратерами.

Изучение кратеров Луны, Марса и Меркурия позволяет сделать вывод, что все они образовались примерно в одну эпоху, удаленную от нас на 4,5 миллиарда лет. Отсюда вытекают важные для планетной космогонии следствия. Например, можно сделать вывод, что на Меркурии никогда не было достаточно плотной атмосферы, способной сгладить рельеф его поверхности. Не было и мощных тектонических процессов, действующих в том же направлении. «Маринер-10» обнаружил на Меркурии следы весьма разреженной атмосферы, состоящей из тяжелых инертных газов. Поражают перепады температуры Меркурия: на ночной стороне она составляет —175°, на дневной +275°. Впрочем, этот факт астрономам был известен уже давно по наблюдениям с поверхности Земли.

Весьма интересные фотографии облачного слоя Венеры в ультрафиолетовых лучах были получены «Маринером-10» во время его сближения с Венерой (см. рис. XXII). Кроме подтверждения периода движения этих облаков в 4 суток (см. выше), был обнаружен совершенно новый феномен, получивший название «Око Венеры». Эта деталь всегда находится вокруг точки поверхности планеты,

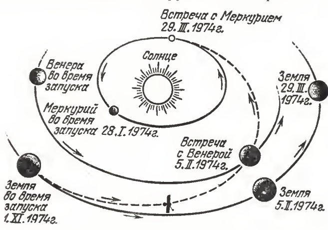


Рис. 43. Схема полета к Венере и Меркурию АМС «Маринер-10».

лежащей на прямой, соединяющей ее центр и Солнце. На фотографии это «око» видно как темное пятно. «Око» состоит из мощных потоков атмосферы, которые создают огромную зону высокого давления. Можно полагать, что энергия потоков атмосферы (берущаяся, в конечном итоге, из солнечной энергии) через «око» распределяется путем циркуляции по всей планете. Если это так, то причиной высокой температуры поверхности планеты может быть не «парниковый эффект», а «венерианская метеорология», неизмеримо более мощная, чем земная. Интересно, что в самых глубоких слоях атмосферы Венеры скорость движения воздушных масс очень мала. Именно по этой причине гористый рельеф Венеры (установленный

методами радиолокации) до сих пор не «сглажен». Таким образом, причина высокой температуры поверхности Венеры далеко не ясна.

Похоже, что описанные только что природные условия на поверхности нашей космической соседки исключают возможность существования там каких бы то ни было форм жизни. Например, никакие белковые соединения при таких условиях существовать не могут. Наконец, отсутствие гидросферы даже на самой ранней стадии формирования планеты должно было чрезвычайно затруднить само образование первых примитивных живых существ.

Как это ни может показаться парадоксальным, в настоящее время большие планеты, в частности Юпитер, можно считать значительно более подходящими для жизни, чем Венера. В частности, такого мнения придерживается американский астроном Саган.

Простые органические соединения могли синтезироваться в атмосферах больших планет, во многих отношениях напоминающих первичную атмосферу Земли. В качестве внешнего «стимулятора» для такого синтеза можно предположить либо электрические разряды, либо ультрафиолетовое излучение Солнца. Радиоастрономические наблюдения дают некоторые указания на наличие мощных электрических разрядов в атмосфере Юпитера.

Довольно часто на сравнительно длинных волнах (15—20 *м*) гигантская планета дает мощные «вспышки» радиоизлучения длительностью в несколько секунд. Возможно (хотя это и не доказано), что такое излучение связано с грозовыми разрядами огромной мощности. Атмосфера Юпитера охвачена бурными конвективными движениями. Образующиеся органические молекулы могут опускаться поэтому на довольно значительную глубину. Возможно, что температурные условия там более подходящие для синтеза сложных органических соединений, чем на более высоких уровнях атмосферы, в частности над плотным облачным слоем, образующим видимую поверхность Юпитера. Очевидно, что на некоторой глубине температура атмосферы должна лежать в пределах $0 \div +50$ °С, т. е. быть примерно такой же, как на Земле.

До недавнего времени Марс и его система спутников являлись самыми удаленными от Солнца объектами, которые исследовались «прямыми» методами при помощи космической техники. Но вот в начале марта 1972 г. с американского космодрома имени Кеннеди была запущена автоматическая межпланетная станция «Пионер-10», весом в 258 *кГ*. Пролетев за 21 месяц свыше миллиарда километров, эта станция 4 декабря 1973 г. прошла на минимальном расстоянии 130 000 *км* от поверхности Юпитера (вернее, от густого слоя облаков, закрывающих поверхность этой гигантской планеты). При осуществлении этого полета пришлось преодолевать значительные трудности. Например, из-за того, что Юпитер удален от Солнца в 5,2 раза больше чем Земля, поток солнечного излучения там в 27 раз меньше. Это заставило организаторов полета отказаться от солнечных батарей — основного источника энергии на борту «марсианских» и «венерианских» автоматических межпланетных станций.

Вместо этих батарей на борту «Пионера-10» были установлены два радиоизотопных термоэлектрических генератора мощностью 140 ватт, которые непрерывно и безотказно работали.

Одним из важнейших результатов полета «Пионера-10» было преодоление разного рода опасностей, связанных с некоторыми неприятными областями околосолнечного космоса. Прежде всего определенное беспокойство вызывало прохождение этого аппарата через пояс астероидов, где частота метеорных ударов могла быть угрожающе высока. Но все обошлось благополучно, и космонавты будущего это, конечно, учтут. Ученые также выражали сомнения, смогут ли приборы «Пионера-10» выдержать ожидаемую огромную интенсивность радиационных поясов гигантской планеты. Эти опасения были не напрасны. Уже на расстоянии 700 000 *км* от планеты установленные на борту «Пионера-10» приборы стали указывать на весьма быстрый рост уровня радиации, который удваивался через каждые десять часов. Уровень жесткой радиации почти достиг предельно допустимого значения, но все же приборы не вышли из строя.

Существование мощных радиационных поясов Юпитера установлено было свыше 10 лет назад из анализа радиоастрономических наблюдений этой гигантской планеты. Полет «Пионера-10» позволил существенно уточнить характеристики этих поясов, несравненно более мощных, чем околоземные. Приборы, установленные на этом аппарате, позволили измерить магнитное поле Юпитера, среднее значение которого 4 гаусса. Очень интересна структура этого поля. На самом деле там имеются два магнитных поля: одно типа земного («дипольное»), но только несимметричное по отношению к телу планеты, и второе, связанное с его мощными радиационными поясами. Взаимодействие быстро вращающейся магнитосферы Юпитера с солнечным ветром приводит к ускорению заряженных частиц до весьма высоких энергий. Эти частицы могут попадать даже во внутренние области Солнечной системы.

Хотя специальных телевизионных камер на борту «Пионера-10» не было, с помощью особого сканирующего радиолокационного устройства по телеметрическому каналу была передана информация, позволившая с исключительной четкостью получать цветные изображения облачного слоя, покрывающего Юпитер. Качество этих изображений несравненно лучше полученных на лучших земных телескопах (рис. XXIII). С большой детальностью было получено изображение знаменитого «красного пятна», было открыто несколько меньших «красных пятен», а также масса других деталей, которые весьма быстро меняются со временем. Вообще, весь облачный слой Юпитера охвачен бурными движениями, связанными с переносом большого количества энергии.

Установленный на «Пионере-10» ультрафиолетовый спектрометр позволил по измеренным спектральным линиям, определить химический состав атмосферы гигантской планеты. Оказалось, что на 82 процента (по числу атомов) она состоит из водорода, на 17 процентов из гелия и только 1% дают все остальные элементы вмес-

те взятые, которые входят в состав разных химических соединений. Химический состав атмосферы Юпитера до удивления похож на солнечный и резко отличается от земного. Сходство со звездой — Солнцем — еще более усиливается по следующей причине. Несколько лет назад было установлено, что в далекой инфракрасной области спектра Юпитер излучает в 2,5 раза больше энергии, чем получает от Солнца во всем спектре, в том числе и в видимой его части. Следовательно, в отличие от остальных планет, Юпитер есть «самосветящееся» космическое тело. Источником энергии излучения Юпитера скорее всего является его непрерывное сжатие. Подсчеты показывают, что для этого достаточно сжиматься на 1 миллиметр в год. Таким образом, строго говоря, Юпитер является не планетой, а протозвездой (см. гл. 4).

Подобно Земле, Марсу и Венере Юпитер окружен водородной «короной», простирающейся вплоть до орбиты его ближайшего большого («галилеевского») спутника Ио. Этот спутник, так же как и другой, называемый Ганимедом, имеет атмосферу, плотность которой в миллион раз меньше земной. Спутник Ио замечателен еще тем, что сильнее влияет на мощность всплесков длинноволнового радиоизлучения Юпитера (см. выше). Он как бы выполняет функции «космического громоотвода». Наблюдения с борта «Пионера-10» позволили уточнить массу Ио, которая составляет 1,22 массы Луны.

Через год после «Пионера-10» был запущен «Пионер-11» с той же научной программой, которая была успешно выполнена после сближения его с Юпитером в декабре 1974 г. В отличие от «Пионера-10», который силой юпитерова притяжения будет выброшен за пределы Солнечной системы и в 1987 г. пересечет орбиту Плутона (см. гл. 18), «Пионер-11» осенью 1979 г. пройдет через систему Сатурна, между поверхностью этой планеты и ее знаменитым кольцом. Дух захватывает от ожидания изображения этого кольца, которое будет получено «изнутри». Не исключено, что к 1985 г. «Пионер-11» подойдет к Урану. Будет ли работать к тому времени его бортовые приборы? Остается только набраться терпения и ждать.

Не исключено, что образующиеся в атмосфере Юпитера (а также других больших планет) органические соединения должны растворяться в аммиачных или водяных морях (если они там есть; ведь что происходит под облачным слоем, мы пока почти не знаем). Это может вызвать дальнейшее образование более сложных молекулярных комплексов, и, кто знает, может быть, там имеются очень своеобразные, радикально отличные от земных, живые существа...

Представляет определенный интерес обсуждение возможности жизни на аммиачной основе. Оказывается, что можно провести далеко идущую аналогию между процессами растворения в аммиаке и воде, а также между «аммиачными» органическими соединениями и «обычными», являющимися основой живого вещества на Земле, где «жизненной средой» была вода. Температура плавления аммиака достаточно высокая. То же следует сказать и о температуре кипения. У аммиака высокая удельная теплоемкость и достаточно большая

(хотя и меньшая чем у воды) диэлектрическая постоянная. Он является очень хорошим растворителем. Все перечисленные свойства жидкого аммиака делают его потенциально способным при некоторых условиях сыграть роль «жизненной среды», подобно воде на заре возникновения жизни на нашей планете.

Можно установить полное соответствие между «обычными» солями и органическими соединениями, с одной стороны, а «аммиачными» — с другой. Оказывается, что для этого надо заменить ион $O^{=}$ на аминовую группу $NH^{=}$, а ион гидроксила OH^{-} на амин NH_2^{-}. При такой замене, например, муравьиной кислоте HCOOH будет соответствовать соединение $HCNHNH_2$, а метиловому эфиру CH_3OCH_3— соединение CH_3NHCH_3. На аммиачной основе таким способом можно построить аналоги «обычных» аминокислот, а затем сколь угодно сложные аналоги всевозможных белковых соединений.

Вполне допустимы аммиачные аналоги нуклеиновых кислот, пуринов и пиридинов. Наконец, можно представить аналоги ДНК и РНК с их кодом наследственности.

Аналогом окисления при такой «аммиачной» жизни является присоединение ионов $NH^{=}$ или $N^{=}$, в то время как конечным продуктом жизнедеятельности вместо воды и углекислого газа будут аммиак и циан. Таким образом, можно сказать, что гипотетические аммиачные организмы «пьют» аммиак и «дышат» азотом, в то время как земные «водные» организмы пьют воду и дышат кислородом...

Не будем фантазировать, как могут выглядеть аммиачные организмы. Это во всяком случае преждевременно. Недавно в результате спектроскопических исследований Юпитера был обнаружен водяной пар в его атмосфере, так что необходимость в подобных фантазиях может быть не столь уж велика. Мы хотели бы только подчеркнуть, что современной науке не противоречит гипотеза о возможном существовании примитивных организмов на больших планетах, хотя, по мнению автора, вероятность того, что эта гипотеза справедлива, весьма мала.

В заключение этой главы нужно сказать хотя бы несколько слов об открытии сложных органических соединений внутри некоторых метеоритов. Среди каменных метеоритов иногда наблюдаются так называемые «углистые хондриты». Они составляют примерно 1% от всех каменных метеоритов. У этих метеоритов отмечаются повышенное содержание углерода (до 3%). Кроме того, углистые хондриты богаты серой, водой и некоторыми другими сравнительно легко испаряющимися веществами. Именно в таких хондритах еще в первой половине XIX в. были обнаружены органические вещества. В настоящее время в составе некоторых углистых хондритов обнаружены довольно сложные органические соединения: высокомолекулярные парафиновые углеводороды и жирные кислоты. В 1960 г. из одного метеорита было выделено весьма сложное органическое соединение, подобное цитозину. Известно, что цитозин входит в состав молекулы ДНК. Большой интерес вызвал тонкий химический анализ метеорита, упавшего в Австралии в 1969 г. Среди углеводород-

ных соединений, обнаруженных внутри этого «космического гостя», следует отметить 16 видов аминокислот. Из них пять относятся к числу тех 20 видов, из которых «конструируются» живые белки, а 11 — из числа тех 80, которые в состав земных белков не входят. Очень существенно, что среди обнаруженных аминокислот одна половина имеет «левую симметрию, а другая — «правую» (см. гл. 13). Так как все «живые» молекулы аминокислот на нашей планете имеют «левую» симметрию, ясно, что их «космические сестры», обнаруженные в австралийском метеорите, имеют небиологическое происхождение. Вместе с тем это очевидное доказательство того, что обнаруженные в метеорите аминокислоты действительно синтезировались в космосе, а не являются результатом загрязнения космического гостя земным веществом, так как в последнем случае наблюдалась бы только «левая» симметрия.

Неоднократно появлялись сообщения об обнаружении в углистых хондритах включений овальной формы, имеющих внешнее сходство со спорами водорослей. При облучении ультрафиолетовым цветом эти включения люминесцировали. Кроме того, при применении особых реактивов, используемых для выявления веществ «биологического» происхождения, они окрашивались.

По этим признакам некоторые исследователи считали (и считают) эти включения окаменевшими остатками микроорганизмов. Появились даже гипотезы, объясняющие их происхождение. Бернал, например, считает, что мыслимы две гипотезы, объясняющие это явление.

Согласно первой гипотезе, метеорит некогда был выброшен с поверхности планеты, на которой была жизнь. Не совсем тривиальна вторая гипотеза. Некогда, предполагает Бернал, вместе с земной пылью при вулканическом извержении в межпланетное пространство могли быть выброшены микроорганизмы и споры. Блуждая в Солнечной системе, такие пылинки могли «прилипнуть» к какому-нибудь метеориту и вместе с ним вернуться на свою «родину» — Землю.

Что можно сказать по поводу изложенного? Прежде всего, никак нельзя считать доказанным, что обнаруженные в некоторых углистых метеоритах маленькие включения действительно являются отпечатками микроорганизмов. Одно только морфологическое сходство, конечно, не может быть основанием для такого вывода. Вполне возможно, что эти включения представляют собой минералы или высокомолекулярные углеводороды абиогенного происхождения. Нельзя также полностью исключить возможность «загрязнения» метеоров после их падения земными микроорганизмами. Такие загрязнения могут возникнуть в процессе микробиологического исследования метеоритов.

В последние годы как в американской, так и в советской печати появилось несколько сенсационных сообщений об «открытии» в углистых метеоритах ж и в ы х микроорганизмов. Так, например, Баириев и Мамедов «обнаружили» в ж е л е з н о м Сихотэ-Алин-

ском метеорите особую разновидность живых бактерий. Однако скоро выяснилось, что это «открытие» является недоразумением и что эксперименты были поставлены исследователями неграмотно. Всегда следует помнить, что в истории науки известно много случаев, когда желаемое принималось за действительное. Не случайно старая китайская пословица гласит: «Если ты очень ждешь друга — не принимай стук своего сердца за топот копыт его коня»...

Впрочем, история науки знает и другое. Например, долгие десятилетия официальная наука не признавала, что с неба могут падать камни. Но, во всяком случае, тщательное изучение и скрупулезная проверка фактов при всех условиях совершенно необходимы.

Допустим теперь (хотя это и представляется нам крайне маловероятным), что отпечатки микроорганизмов в метеоритах действительно имеют космическое происхождение. Мы не будем обсуждать здесь первую гипотезу Бернала, которая нам кажется столь же маловероятной, как и тривиальной. Значительно больший интерес представляет вторая его гипотеза.

Можно ли представить выбрасывание из Земли в космическое пространство отдельных зародышей жизни? Совершенно очевидно, что этот вопрос имеет самое прямое отношение к гипотезе панспермии. Поэтому мы коротко коснемся современного состояния этой гипотезы.

Как известно, еще в 1907 г. известный шведский химик Сванте Аррениус высказал предположение, что жизнь на Земле не возникла из неживой субстанции, а была занесена в виде спор микроорганизмов из других миров. Такие споры могут как угодно долго выносить холод космического пространства. Для них не страшен господствующий там высокий вакуум. Под воздействием светового давления споры могут совершать грандиозные космические путешествия — от планеты к планете и от звезды к звезде. Попадая при благоприятных условиях на какую-нибудь подходящую планету, они оживают и дают начало жизни на ней.

Против гипотезы панспермии в том виде, в каком она была сформулирована, выдвигался ряд возражений преимущественно философского характера. Между тем сама по себе эта идея никоим образом не противоречит философии материализма. Почему обязательно надо считать, что жизнь на Земле возникла из неживой субстанции, а не была занесена в виде спор? Более того, исходя из представления о множественности обитаемых миров, вполне логично исследовать вопрос об обмене живыми организмами между планетами, об «опылении» одной планеты другой. Только научный анализ этой проблемы с привлечением новейших результатов, полученных в астрономии, биологии и сопредельных с ними науках, позволит отмести или «утвердить в правах гражданства» гипотезу панспермии.

Попытка такого анализа недавно была сделана Саганом. Он считает, что отдельные микроорганизмы могут быть выброшены за пределы планеты электрическими силами. В случае, если размеры мик-

роорганизмов находятся в пределах 0,2—0,6 *мк* (т. е. близки к длинам волн видимого света), давление излучения звезды выбросит их за пределы данной планетной системы. Такие малые размеры имеют споры и вирусы. Световое давление от звезды не сможет «выталкивать» организмы как бо́льших, так и меньших размеров. В конечном итоге, из-за совместного действия гравитационного притяжения и светового давления звезды такие организмы выпадут на ее поверхность (это известное астрономам «явление Пойнтинга — Робертсона»*).

Согласно вычислениям Сагана, выброшенные из Земли споры могут достигнуть орбиты Марса уже через несколько недель, орбиты Нептуна — через несколько лет, а до ближайших к нам звезд они долетят за несколько десятков тысяч лет. Чтобы пересечь Галактику, им потребуется несколько сотен миллионов лет. Мы полагаем, однако, что в последнем случае сроки будут значительно больше вычисленных Саганом. Он исходит из того, что споры в межзвездном пространстве движутся почти прямолинейно со средней скоростью в несколько десятков километров в секунду. В действительности споры должны двигаться так же, как и частицы межзвездной пыли, к которым они близки по размерам и массе.

Межзвездные пылинки движутся вместе с межзвездным газом, плотность которого примерно в 100 раз больше, чем пыли. Движение же облаков межзвездного газа носит беспорядочный, нерегулярный характер. Такие облака, продвинувшись, на расстояние в несколько десятков световых лет, могут резко изменить направление своего движения и даже слиться с другими облаками. В таких условиях движение спор (так же как и межзвездных пылинок) будет похоже на беспорядочное движение малых частиц в некоторых растворах (так называемое «броуновское движение»). Вычисления показывают, что для того, чтобы переместиться на расстояние 1000 световых лет (это примерно 1/20 размеров Галактики), споре потребуется несколько сотен миллионов лет, а для перемещения через всю Галактику — сотни миллиардов лет, что примерно в 10 раз превышает возраст нашей звездной системы.

Спорам, путешествующим по межпланетным и межзвездным пространствам, грозят большие опасности. Аррениус не учитывал, например, радиационную опасность, что вполне естественно для его времени. Между тем этот вопрос для всей концепции панспермии может иметь решающее значение. В пределах планетных систем основной опасностью является ультрафиолетовое излучение центральной звезды, длина волны которого меньше 0,3 *мк*. Такое излучение губительно

---

*) Вследствие аберрации света сила светового давления на движущееся тело будет иметь составляющую, направленную против движения, что приведет к непрерывному торможению тела. Это и есть эффект Пойнтинга — Робертсона. По этой причине, например, обращающиеся вокруг Солнца пылинки, размеры которых больше 0,5 *мк*, будут непрерывно выпадать на Солнце. Для частиц, размеры которых меньше 0,5 *мк* (но больше 0,2 *мк*), сила светового давления превышает силу гравитационного притяжения. Такие частицы будут выталкиваться за пределы Солнечной системы.

для микроорганизмов. Подсчеты, аналогичные выполненным в гл. 13, показывают, что микроорганизмы получат смертельную дозу излучения еще задолго до того, как они достигнут орбиты Марса. Исходя из этих соображений, Саган приходит к любопытному выводу, что обмен живыми микроорганизмами может быть только между планетами, достаточно удаленными от их солнца. Например, в нашей Солнечной системе живые споры могут переноситься от Урана к Нептуну.

Что касается выбрасывания спор за пределы планетных систем, то разные звезды в этом отношении имеют весьма различную эффективность. Например, у карликовых сравнительно холодных звезд световое давление совершенно недостаточно для того, чтобы выбросить микроорганизмы в межзвездное пространство. С другой стороны, имеются основания полагать (см. гл. 10), что около сравнительно горячих массивных звезд планетных систем нет. Таким образом, «активные» звезды заключены в довольно узких спектральных пределах — приблизительно от F2 до G5.

Из-за губительного ультрафиолетового излучения Солнца в настоящее время *живые* споры космического происхождения не могут, по-видимому, выпадать на Землю *). Можно, однако, предположить, что в первоначальный период существования нашей планеты ультрафиолетовое излучение Солнца имело значительно меньшую интенсивность, чем сейчас. Выдвинув такую гипотезу, Саган получил интересный результат. Чтобы в течение первого миллиарда лет своей истории Земля получала только одну спору из космоса, нужно считать, что каждая из звезд Галактики (а их примерно 10^{11}) имеет обитаемую планету и что за миллиард лет каждая планета выбрасывает в космос 1 m спор. Разумеется, эти числа можно варьировать. Например, если обитаемых планет во Вселенной 10^8, то каждая из них должна выбрасывать в космос за 1 млрд. лет 1000 m спор.

Сейчас совершенно ничего нельзя сказать о том, сколько может выбрасывать в космос спор такая обитаемая планета, как наша Земля. Поэтому, полагает Саган, в настоящее время гипотезу панспермии нельзя считать заведомо ошибочной, хотя аргументов в ее пользу также нет. По его мнению, наиболее вероятно найти следы живой субстанции на спутниках внешних планет, особенно на довольно крупном спутнике Нептуна — Тритоне.

Можно, однако, выдвинуть несколько возражений против выводов Сагана. Во-первых, ультрафиолетовое излучение Солнца в течение первых сотен миллионов лет существования нашей планеты было примерно таким же, как и сейчас. Даже в начале этого периода, когда Солнце было еще сжимающейся звездой, его температура не очень сильно отличалась от современной. Это следует

*) Следует заметить, однако, что если спора попадет в какую-нибудь расщелину на пылинке, она будет надежно «забронирована» от губительного воздействия ультрафиолетовых лучей. Такую естественную возможность всегда надо учитывать.

хотя бы из рассмотрения рис. 14, где приведены эволюционные треки звезд на диаграмме «спектр—светимость». Во вторых, Саган почему-то забывает, что споры из межзвездного пространства будут выталкиваться давлением солнечного света за пределы Солнечной системы. Ведь с самого начала предполагается, что такие споры выталкиваются световым давлением за пределы тех планетных систем, где они зародились. Наконец, за сотни миллионов лет блужданий в межзвездной среде они могут получить смертельную дозу радиации, которая присутствует в форме космических лучей. Ведь поток первичных космических лучей там практически такой же, как и на Земле. За это время через такую спору размером в 10 *мк* пройдет примерно 10 млрд. частиц сверхвысоких энергий, из которых добрая сотня тысяч будет поглощена веществом споры. Это соответствует дозе излучения в несколько миллиардов рентген. Последствия такой «бомбардировки» могут быть только летальными *).

Большую опасность для спор, блуждающих в межзвездном пространстве, могут представлять горячие звезды, которые на огромные расстояния, исчисляемые сотнями световых лет, ионизуют и сильно нагревают межзвездный газ. В таких обширных областях межзвездной среды, окружающих горячие звезды, космические пылинки, в том числе и споры, могут быть полностью разрушены.

Крик и Оргелл приводят два чисто биологических аргумента в пользу гипотезы «направленной панспермии». Они полагают, что химический состав живых организмов в какой-то степени должен отражать химический состав среды, в которой проходила их эволюция. Поэтому присутствие в составе организмов элементов, исключительно редких на Земле, может служить «намеком» на то, что жизнь зародилась далеко за пределами нашей планеты, где химический состав среды совсем иной. Почему, например, довольно важное место в жизнедеятельности клеток занимает молибден, в то время как гораздо более обильные и химически сходные с ним хром и никель заметной роли в биохимических процессах не играют? Между тем известны очень редкие звезды с аномально высоким содержанием молибдена. Может быть, они окружены богатыми молибденом планетами?

Другим аргументом в пользу этой гипотезы является универсальность генетического кода. В самом деле, почему все живущие организмы — от простейших до человека — используют совершенно одинаковый генетический код? Ведь мыслимо множество модификаций такого кода. Панспермия непринужденно объясняет эту удивительную особенность, хотя, конечно, это можно объяснить «борьбой за существование» организмов с разными генетическими кодами.

---

*) Необходимо заметить, что споры некоторых микроорганизмов и вирусы не гибнут даже при дозах жесткого излучения, достигающих 1 млн. рентген. Все же, как показывают оценки, дозы радиации, полученные вирусами и спорами при «межзвездных путешествиях», значительно больше.

В общем, доводы Крика и Оргелла нельзя считать очень серьезными, но внимания они заслуживают.

Возвратимся теперь к вопросу о природе отпечатков водорослей, найденных в некоторых метеоритах. Разумеется, трудно согласиться с гипотезой Бернала в том виде, как она сформулирована, так как нельзя себе представить, что при вулканическом взрыве веществу сообщается вторая космическая скорость. Может быть, что отдельные микроорганизмы выбрасываются за пределы Земли другими силами, например электрическими. Двигаясь в межпланетном пространстве, они могли «прилипнуть» к какому-нибудь малому космическому телу, которое потом выпало на Землю как метеорит. Однако эта гипотеза встречается с большими трудностями, и было бы важно исследовать этот вопрос во всех деталях. Но прежде всего нужно доказать космическое происхождение метеорных отпечатков микроорганизмов. Существующие пока «доказательства» в высшей степени сомнительны.

До сих пор мы обсуждали возможность существования жизни на различных планетах, в том числе и таких, где физические условия резко отличаются от земных. Например, Юпитер не имеет твердой поверхности и, в сущности говоря, по своей природе ближе к карликовым холодным звездам, чем к планетам земной группы. В связи с этим любопытно заметить, что на Бюраканском симпозиуме 1971 г., посвященном различным аспектам проблемы связи между внеземными цивилизациями, вполне серьезно обсуждался вопрос о возможности возникновения и развитии жизни в... атмосферах очень холодных звезд. Тем самым была пробита первая брешь в «планетном шовинизме» *), характерном для проблемы внеземной жизни. Дискуссия показала, что хотя жизнь (если она есть) на холодных звездах в принципе и возможна, ее развитие встречается там с огромными трудностями, прежде всего энергетическими. Забавно, что можно было наблюдать своеобразный возврат к старинным, бесконечно наивным воззрениям знаменитого английского астронома Гершеля. Последний вполне серьезно считал, что Солнце — обитаемо, его поверхность довольно холодна и только плавающие над ней облака очень горячи... Об этом уже речь шла во введении к этой книге. Развитие физики и астрофизики объясняло в XX в. природу Солнца и звезд и камня на камне не оставило от взглядов Гершеля. Новое возрождение концепции «звездной жизни» произошло, конечно, на совершенно другой основе. Автору этой книги, однако, идеи возникновения жизни на звездах представляются бесперспективными. Атмосфера любой звезды — это более или менее нагретый газ, пусть даже молекулярный. А в газовой, нестабильной среде возникновение сложных молекулярных комплексов, способных к репликации, нам представляется просто невоз-

*) «Планетный шовинизм» — это представление о том, что жизнь во Вселенной может возникнуть и развиваться только на планетах.

можным. Поэтому обсуждать эту проблему в настоящей книге мы не будем.

На том же Бюраканском симпозиуме известный физик Дайсон (о его идеях по проблеме внеземных цивилизаций будет рассказано в последней части этой книги) выступил с исключительно смелым утверждением, что основным обиталищем жизни в Галактике могут быть не планеты, а ... кометы! Дело в том, что число комет в нашей Галактике должно на много порядков превышать число звезд и планет.

Существенно, что жизнь, по существу, есть «поверхностный» феномен. Например, биосфера Земли может быть рассматриваема как тонкий шаровой слой, радиус которого равен радиусу Земли (т. е. 6370 *км*), а толщина — всего лишь несколько километров. Оказывается, что хотя массы комет ничтожно малы по сравнению с массами планет, суммарная поверхность всех комет в Галактике на много порядков больше, чем суммарная поверхность планет. Центральные области комет могут быть богаты сложными органическими соединениями и там в принципе возможна пребиологическая эволюция вещества. Все же мы весьма скептически относимся к возможности возникновения и развития жизни на кометах. Там нет сколько-нибудь заметной силы тяжести; там в огромных пределах меняется температура — ибо большинство комет движутся по сильно вытянутым орбитам. Под воздействием всякого рода возмущений кометы вблизи Солнца распадаются на метеорные потоки — это происходит буквально на наших глазах. Все это делает кометы в высшей степени неподходящим местом для возникновения и развития жизни.

И, наконец, еще одно замечание. Предметом этой книги является, если можно так выразиться, «астрономический шовинизм». Это означает, что до сих пор всегда обсуждалась проблема возникновения и развития жизни на тех или иных астрономических объектах (планеты, звезды, кометы). Но ведь жизнь в принципе может быть и на совершенно другом уровне! Не так давно итальянский физик-теоретик Коккони выдвинул необычайно смелую гипотезу. Суть этой гипотезы сводится к следующему. Уже сейчас известно свыше 200 элементарных частиц, большая часть которых нестабильна вне ядер атомов. Можно себе представить, рассуждает Коккони, что где-то на субъядерном уровне элементарные частицы находятся в весьма сложных и пока еще не познанных взаимоотношениях. Здесь в принципе возможна некая «химия» на ядерном уровне и — кто знает — могут возникнуть исключительно сложные, способные к репликации системы. Жизнь на ядерном уровне! Разумеется, пока еще мы ничего больше по этому увлекательному сюжету сказать не можем. Пусть это будет — пока — иллюстрацией безмерных возможностей полета мысли. Но кто знает, как эта проблема будет выглядеть через несколько веков!

Наконец, стоит сказать об идее нашего выдающегося физика-теоретика М. А. Маркова, рассматривавшего «почти замкнутые»

(в космологическом смысле) миры, которые для «внешнего» наблюдателя могут выглядеть как очень маленькие, может быть, даже элементарные заряженные частицы. Такие гипотетические объекты Марков называет «фридмонами» в честь замечательного советского космолога А. А. Фридмана. В принципе, конечно, возможно, что внутри некоторых «фридмонов» и существуют какие-то живые и даже разумные существа... Самое любопытное — удивительная идея Маркова совершенно не противоречит фундаментальным законам физики! Все же не следует забывать, что пока нет никаких указаний на возможность реализации этой красивой идеи «на самом деле».

Часть третья

РАЗУМНАЯ ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Жить на такой планете —
зря время терять!

И. Ильф, «Записные книжки»

17

Общие замечания

В 1-й части этой книги мы рассказывали о строении Вселенной и об эволюции составляющих ее различных космических объектов. Задачей этой части было установление самых общих условий, при которых во Вселенной может (но не обязательно должна) возникнуть жизнь. Было показано, что такая «деликатная» форма движения материи, как жизнь, зависит от большого числа совершенно не связанных между собой явлений. Так, например, явление «красного смещения» в спектрах удаленных галактик является, по-видимому, обязательным условием для возникновения и развития жизни на какой-нибудь планете. Так же необходимы для этого вспышки сверхновых звезд, в процессе которых образуются тяжелые элементы, без которых немыслима живая субстанция. Наконец, необходимо, чтобы в достаточно большом количестве образовывались планеты. Этому основному вопросу в 1-й части было уделено особое внимание. Вся 1-я часть построена на основе достаточно надежно установленных фактов и вполне обоснованных теорий и гипотез.

Значительно сложнее обстоит с центральной проблемой возникновения живой субстанции из неживой, которой посвящена 2-я часть книги. Эта проблема решается совместными усилиями молекулярной биологии, кибернетики и космогонии. «Штурм» этой твердыни непознанного, по существу, начинается только сейчас. Тем не менее уже в настоящее время намечаются пути решения этой проблемы. Во 2-й части проведен также анализ возможности жизни на соседних с нами планетах Солнечной системы. И хотя сегодня мы еще не можем с определенностью сказать, есть ли жизнь на этих планетах, можно не сомневаться, что в ближайшие годы ответ на этот вопрос будет дан. Порукой служат поразительные успехи исследований космоса прямыми методами при помощи автоматических беспилотных космических кораблей.

Переходя к обсуждению вопросов, связанных с возможностью тех или иных проявлений разумной жизни во Вселенной, мы сталкиваемся с очень большими трудностями.

Жизнь на какой-нибудь планете должна проделать огромную эволюцию, прежде чем стать разумной. Движущая сила этой эволюции — способность организмов к мутациям и естественный отбор. В процессе такой эволюции организмы все более и более усложняются, а их части — специализируются. Усложнение организмов идет как в качественном, так и в количественном направлении. Например, у червя имеется всего лишь около 1000 нервных клеток, а у человека около десяти миллиардов. Развитие нервной системы существенно увеличивает способности организмов к адаптации, их пластичность. Эти свойства высокоразвитых организмов являются необходимыми, но, конечно, недостаточными для возникновения разума. Последний можно определить как адаптацию организмов для их сложного социального поведения (об определении разума более подробно см. также гл. 26). Возникновение разума должно быть теснейшим образом связано с коренным улучшением и усовершенствованием способов обмена информацией между отдельными особями. Поэтому для истории возникновения разумной жизни на Земле возникновение языка имело решающее значение. Язык стал средством регулирования социального поведения внутри сообщества индивидуумов, что имело огромное значение для социальной эволюции и последующей истории человеческого общества.

Можем ли мы, однако, такой процесс считать универсальным для эволюции жизни во всех уголках Вселенной? Скорее всего — нет! Ведь в принципе при совершенно других условиях средством информации между особями могли бы стать не продольные колебания атмосферы (или, скажем, гидросферы), в которой живут эти особи, а нечто совершенно другое. Почему бы не представить себе способ обмена информации, основанный не на акустических эффектах, а, скажем, на оптических или магнитных? И вообще — так ли уж обязательно, чтобы жизнь на какой-нибудь планете в процессе ее эволюции стала разумной?

Между тем эта тема с незапамятных времен волновала человечество. Говоря о жизни во Вселенной, всегда, прежде всего, имели в виду *разумную* жизнь. Одиноки ли мы в безграничных просторах космоса? Как уже рассказывалось во введении к этой книге, философы и ученые с античных времен всегда были убеждены, что имеется множество миров, где существует *разумная* жизнь. Никаких научно обоснованных аргументов в пользу этого утверждения не приводилось. Рассуждения, по существу, велись по следующей схеме: если на Земле — одной из планет Солнечной системы — есть разумная жизнь, то почему бы ей не быть на других планетах? Ниже мы увидим, однако, что такой простой метод рассуждения, если его логически развить, не так уж плох.

Только в наше время под впечатлением запуска первых искусственных спутников Земли и космических ракет появились серьезные исследования, посвященные *научному* анализу этой увлекательнейшей проблемы, остававшейся до этого только сюжетом научно-фантастических произведений. Само собой разумеется,

что доказательств существования разумной жизни на других мирах пока еще нет. Вряд ли они так скоро появятся — слишком трудна проблема. Нельзя, наконец, исключить неутешительную возможность того, что разумная жизнь во Вселенной — редчайшее (хотя, конечно, не уникальное) явление. Может быть, например, что наша планета как обитель разумной жизни единственная в Галактике, причем далеко не во всех галактиках имеется разумная жизнь. Так, например, в радиогалактиках типа Лебедь А вряд ли может быть высокоорганизованная жизнь (см. гл. 6). С другой стороны, можно полагать, что проявления разумной жизни (из-за некоторых свойств последней, о которых будет идти речь в этой части книги) могут быть довольно широко распространены во Вселенной. Сейчас мы еще не можем сделать выбор между этими крайними случаями. Казалось бы, при таком, мягко выражаясь, неопределенном положении стоит ли заниматься сейчас этой проблемой, тем более посвящать ей целую часть в книге? Можно ли вообще называть работы о разумной жизни во Вселенной научными? Автор этой книги глубоко убежден, что заниматься этой проблемой нужно и даже необходимо и что уже сейчас это можно делать на достаточно высоком научном уровне.

При таком анализе необходимо, естественно, сделать предположение, что наша человеческая цивилизация — одна из очень многих и не представляет собой уникального явления во Вселенной. Более того, можно в первом приближении считать, что наша земная цивилизация — довольно типичное проявление разумной жизни во Вселенной.

Выше мы обратили внимание на то, что эта основная гипотеза, вообще говоря, может быть неверной. Нельзя пока исключить возможности того, что разумная жизнь во Вселенной — явление очень редкое, хотя последняя возможность представляется нам маловероятной *). Таким образом, сформулированная основная гипотеза носит вероятностный характер. В естествознании, однако, можно привести ряд примеров, когда такой метод исследований был очень плодотворным.

Мощность такого метода была остроумно продемонстрирована на одном примере работающим в США немецким астрономом фон Хорнером. Хорошо известно, что древние греки не имели правильного представления ни о размерах Солнечной системы, ни о расстояниях до звезд, природа которых была им не известна. Но если бы они пользовались гипотезой, аналогичной сформулированной, то составили бы себе правильное представление о масштабах Вселенной. Применительно к этой задаче гипотезу можно формулировать следующим образом: Земля — типичная «средняя» планета,

*) Все же такую возможность исключить нельзя, особенно если будет выяснено, что возникновение жизни на Земле есть процесс случайный (см. гл. 13). Страшно даже представить, что из 10^{20}—10^{21} планетных систем во Вселенной, в области радиусом в десяток миллиардов световых лет разум существует только на нашей крохотной планете...

а Солнце — типичная «средняя» звезда. Далее они должны были рассуждать так. Коль скоро Земля — «средняя» планета, ее диаметр, расстояние до Солнца и способность отражать солнечные лучи (так называемое «альбедо») также являются «средними». Сравнение видимой яркости пяти известных в то время планет с видимой яркостью Солнца позволило бы им оценить расстояние от Земли до Солнца, выраженное в долях земного диаметра. Так как древние греки уже имели правильное представление о размерах земного шара (знаменитое измерение длины дуги части меридиана, выполненное Эратосфеном), то расстояние от Земли до Солнца было бы им известно и в линейных единицах. Оказывается, что значение астрономической единицы, полученной таким методом, превышает истинное всего лишь в два раза, хотя метод, конечно, очень груб. Вспомним, например, что истинные размеры планет значительно отличаются друг от друга, а расстояния их от Солнца меняются в довольно широких пределах. Сравнение видимой яркости Солнца с яркостью 10 ярчайших звезд на небе позволило бы уже в античное время оценить среднее расстояние между звездами. Для этого нужно было бы знать расстояние от Земли до Солнца, которое могло быть определено описанным выше методом, и считать, что Солнце — это «средняя» звезда. Полученное таким методом среднее расстояние между ближайшими к Солнцу звездами всего лишь на 10% меньше истинного.

Конечно, по тем временам при отсутствии других методов такие оценки могли иметь только вероятностный характер. Дальнейшее развитие науки лишь подтвердило бы их правильность и тем самым продемонстрировало бы мощность метода *).

Следует обратить внимание на философскую и историко-социологическую сторону вопроса, рассматриваемого в 3-й части этой книги. Коль скоро во Вселенной могут находиться цивилизации на самых различных уровнях развития, необходимо иметь хотя бы самое общее представление о путях развития общества разумных существ. Если учесть, что наша цивилизация безусловно является очень молодой и что разумная жизнь на Земле еще не вышла из младенческого возраста, следует считаться с тем, что большинство цивилизаций продвинулось на пути социального, научного и технического прогресса неизмеримо дальше нас. Казалось бы, дать прогноз развитию общества на сроки, исчисляемые по крайней мере тысячелетиями,— безнадежная трудность. История вообще никогда никаких прогнозов не делает... Все же о некоторых тенденциях и основных закономерностях развития цивилизаций говорить, по нашему мнению, можно.

Например, вполне может обсуждаться такой вопрос: будет ли общество разумных существ развиваться в течение космогонических сроков (порядка миллиардов лет) или шкала времени его существова-

*) В рассуждении фон Хорнера, однако, имеется существенный дефект: древние греки не имели ни малейшего представления о том, во сколько раз яркость Солнца превосходит яркость звезд. Сказанное, конечно, не умаляет ценности этого рассуждения.

ния много меньше? Такой бесспорный и решающий для рассматриваемой проблемы фактор, как неограниченная и все нарастающая «экспансия» разумной жизни в окружающее космическое пространство, может сыграть определяющую роль в оценке возможностей обнаружить проявления разумной жизни. Сюда же следует несомненно отнести важнейшую особенность этой экспансии: стремление к *активному* воздействию на Космос. Уже сейчас, на заре космической эры, человек активно воздействует на космос, делает первые, пусть пока робкие, шаги по перестройке Солнечной системы. Миллиарды лет Земля имела только одного спутника — Луну. Сколько же их сейчас? Они, конечно, малы, но все же, по-видимому, больше, чем маленькие спутники Сатурна, образующие его знаменитое кольцо. В конце концов, устроить искусственное кольцо вокруг Земли — задача, которая может быть решена современными техническими средствами. Технически обоснованные проекты этого грандиозного предприятия уже имеются сейчас. Если такое кольцо *нужно* будет создать (пока неясно, так ли это), оно вполне может быть создано в течение ближайших десятилетий.

В гл. 14 мы уже обратили внимание на то, что благодаря деятельности человека такая основная характеристика планеты Земли, как яркостная температура в диапазоне метровых волн, увеличилась за последние два-три десятилетия в миллионы раз. Разумные существа сделали маленькую планету — Землю вторым по мощности источником радиоизлучения в Солнечной системе. Вполне возможно, что в ближайшие десятилетия наша планета как источник радиоизлучения по мощности превзойдет Солнце (в периоды, когда на нем почти нет пятен).

Ниже будет показано, что аналогичную ситуацию в принципе можно создать и в оптическом диапазоне частот. Применение квантовых генераторов оптического излучения (так называемых «лазеров») открывает возможность посылки направленных пучков света в очень узком спектральном интервале на огромные космические расстояния, причем в этом спектральном интервале и в данном направлении интенсивность пучка значительно превысит солнечное излучение.

Описанные примеры (число которых можно было бы при желании увеличить) — это только первые, робкие попытки «космического» проявления разумной жизни. Что же будет дальше? Конечно, конкретные пути активного воздействия разумной жизни на космос сейчас представить нелегко, но тенденция развития совершенно очевидна.

К сожалению, при прогнозе самых общих аспектов развития общества разумных существ на «астрономические» или, вернее, «почти астрономические» сроки мы не могли опираться на исследования философов. Это объясняется, конечно, некоторым отставанием философской науки, не всегда справляющейся с задачами, представляющими значительно больший практический интерес, чем наша. Хочется надеяться, что философы, опираясь на великое

учение Маркса, Энгельса и Ленина, заинтересуются этой частью проблемы и существенно продвинут ее вперед своими исследованиями. Но, поскольку таких исследований пока еще нет, автор, не будучи специалистом, вынужден касаться в 3-й части книги отдельных проблем философского характера. Он заранее просит извинения за те ошибки, которые при этом могут быть им допущены. Может быть, анализ этих ошибок положит начало плодотворной философской дискуссии, которая будет весьма полезна.

Круг проблем, которые будут затронуты в 3-й части книги, довольно обширен. Он касается, во-первых, анализа возможностей перестройки космоса разумными существами. В качестве воображаемого примера такой перестройки рассматривается гипотеза Дайсона. Большое внимание мы уделим анализу всех возможностей установления контактов (связей) между разумными существами, населяющими различные планетные системы. Здесь мы имеем конкретные, строго научные расчета. В заключение мы рассмотрим несколько вопросов общего характера.

Заметим еще, что отдельные главы 3-й части содержат некоторые математические и физические расчеты. Это может затруднить их чтение для мало подготовленного читателя. Однако такое усложнение текста, по нашему мнению, необходимо. В противном случае, выводы, содержащиеся в этой части, представлялись бы голословными. С другой стороны, содержащийся в этих главах материал является новым и в некоторой степени оригинальным. Поэтому он может представлять интерес и для специалистов. Изложение построено таким образом, что без ущерба для понимания математические выкладки могут быть пропущены.

18

Освоение человечеством Солнечной системы

В предыдущей главе мы уже упомянули о важнейшей для нашей проблемы особенности разумной жизни на Земле — ее экспансии в окружающее космическое пространство. Нам очень повезло — этот процесс начался буквально на наших глазах около 20 лет назад, когда был запущен первый советский искусственный спутник Земли. Сейчас, спустя 20 лет, приходится только поражаться грандиозности достигнутых успехов. Возникла космическая индустрия, охватывающая огромные комплексы специализированных предприятий. Уже сейчас ближний космос исправно служит человечеству, помогая ему в его практической деятельности. Упомянем хотя бы о ретрансляции телевизионных передач через специализированные спутники связи. Система ретрансляции телевидения через спутники типа «Молния» позволяет смотреть московские телепередачи в самых отдаленных уголках нашей страны. Правда, достойно сожаления, что художественное качество этих передач не всегда соответствует высокому уровню космической техники... Но это уже не имеет прямого отношения к экспансии человечества в космос. Другим аспектом использования ближнего космического пространства для практических нужд народного хозяйства является система непрерывно патрулирующих метеорологических спутников. Метеорологическая служба сейчас действительно стала глобальной. Открывается, например, возможность детально прогнозировать развитие циклонов, тайфунов и других грандиозных пертурбаций земной атмосферы, еще так недавно считавшимися стихийными, не подвластными людям. Без преувеличения можно сказать, что наконец-то метеорология поставлена на прочную экспериментальную основу.

Весьма многообещающим является применение космической техники для детального прогнозирования урожая на огромных площадях, определения зараженности вредителями труднодоступных участков тайги, рыболовства и других не менее конкретных и актуальных проблем народного хозяйства. Итак, ближний космос уже сейчас поставлен на службу человеческой практики.

Но экспансия человечества в космос этим не ограничивается. После того как первая советская беспилотная автоматическая станция совершила мягкую посадку на поверхности Луны и передала незабываемое изображение кусочка лунной поверхности, усеянного камнями, наш вечный спутник стал объектом настоящей атаки со стороны исследователей. Важным шагом этой волнующей эпопеи была высадка американских космонавтов Армстронга и Олдрина на поверхности Луны в районе Моря Спокойствия 20 июля 1969 г. Известная фраза Армстронга «Это маленький шаг для одного человека, но гигантский шаг для всего человечества» хорошо выражает сущность неодолимого процесса экспансии разума в космическое пространство. Сама по себе высадка космонавтов на Луне, их многочасовая работа там по установке научной (в частности, сейсмической) аппаратуры, сбор образцов пород, старт с Луны, стыковка на окололунной орбите с орбитальным отсеком, который все время патрулировал, и, наконец, благополучное возвращение на Землю и приводнение в заданном месте — это ли не чудо современной техники, это ли не демонстрация тех возможностей, которые заложены в человеке!

Вряд ли скоро сгладится в памяти людей эпопея одного из следующих лунных кораблей — «Аполлона-13», потерпевшего аварию и, благодаря великолепному мастерству космонавтов, благополучно вернувшегося на Землю буквально «на последнем крыле». Этот эпизод наглядно показал, что освоение космоса — не туристская прогулка, а предприятие, полное опасности и риска. Ибо трудно исключить возможность того, что какая-нибудь деталь системы, одна из десятков тысяч не сработает. Так же, как были жертвы (и немалые!) в эпоху Великих открытий, так же они будут и при освоении космоса — дело это необычно трудное и новое. Однако задача состоит в том, чтобы эти жертвы были сведены к минимуму.

В нашей стране освоение Луны идет по линии спуска на ее поверхность автоматических беспилотных станций. Великолепным достижением является длительная работа на поверхности нашего естественного спутника подвижного аппарата «Луноход-1» (рис. XXVIII). Этот космический вездеход проработал на Луне $10^1/_2$ «лунных суток», перенес несколько томительно-длинных лунных ночей, с их непомерным холодом, когда температура падала до —150°. «Луноход» прошел по каменистой, сложного профиля поверхности Луны свыше 10 километров. Еще более далекое путешествие совершил по лунной поверхности аппарат «Луноход-2», прошедший за 5 лунных дней расстояние в 37 км. Несомненно, вслед за первыми советскими «Луноходами» на поверхности Луны будут функционировать другие автоматы сложной конструкции и разнообразного назначения. Советские автоматические капсулы осуществляли бурение лунного грунта и доставили на Землю образцы лунных пород.

Не за горами то время, когда на Луне будет сооружена постоянно действующая автоматическая обсерватория. Она может время от

времени посещаться космонавтами-учеными, которые будут забирать накопившиеся научные материалы (например, фотопленки). Разумеется, часть информации автоматическая обсерватория будет посылать на Землю по телеметрическим каналам. Уже давно астрономы поняли, что Луна является превосходной платформой для астрономических наблюдений. Недаром знаменитый американский астроном Симон Ньюкомб еще в прошлом веке шутливо заметил, что после смерти души настоящих астрономов должны попадать на Луну, где условия для наблюдений должны быть идеальны...

Правда, в настоящее время далеко не ясно, какой тип космической обсерватории лучше — установленный на Луне или на большом искусственном спутнике с весьма вытянутой орбитой, большая полуось которой близка к радиусу лунной орбиты. Несомненно, есть такие астрономические наблюдения, для которых последний вариант является предпочтительным. Например, радиоинтерферометрия со сверхдлинными «космическими» базами. Известно, что применение таких интерферометров, антенны которых разделены на межконтинентальные расстояния порядка многих тысяч *км*, позволило достигнуть в радиоастрономии разрешающей способности (определяемой формулой $\varphi \approx \frac{\lambda}{d}$, где λ — длина волны, d — расстояние между антеннами) около 10^{-3} секунды дуги, что в сотни раз лучше, чем в оптической астрономии. Именно этим методом удалось получить основную информацию о «космических мазерах» на волнах 18 и 1,35 *см*, о чем речь шла в гл. 9. Однако дальнейшему повышению разрешающей способности таких радиоинтерферометров мешают... ограниченные размеры земного шара! И тогда естественно возникает проект: надо удалить две антенны такого интерферометра на космическое расстояние. Одна большая антенна будет находиться на Земле, в то время как другая более скромных размеров должна быть установлена на борту искусственного спутника с вытянутой орбитой. Таким образом, расстояние между антеннами (или, как принято говорить в радиоастрономии, «база») будет не только большим, но и переменным. Последнее обстоятельство особенно важно, так как оно в принципе позволяет определить угловые размеры и даже форму источника. Мы довольно подробно остановились на этой актуальной проблеме современной радиоастрономии еще и потому, что в будущем она может иметь серьезное значение для нашей основной проблемы — обнаружения удаленных цивилизаций и установления контакта с ними.

Вернемся теперь к Луне как вероятной платформе для большой современной автоматической обсерватории. Если для радиоинтерференционных наблюдений наш естественный спутник не совсем удобен (так как база такого интерферометра меняется лишь в незначительных пределах), то для такой очень важной области современной науки, как рентгеновская астрономия, Луна, по-видимому, является весьма удобной платформой. Основным дефектом современной рентгеновской астрономии является ее очень низкая разре-

шающая способность. Это объясняется невозможностью создания отражающих или преломляющих телескопических систем для рентгеновских лучей (если они не слишком «мягки»). Основным типом приемников рентгеновского излучения являются счетчики квантов разных типов, заполняющих некоторую поверхность. Разрешающая способность такого детектора в лучшем случае составляет что-нибудь около 1°. Теперь представьте себе, что какой-нибудь источник космического рентгеновского излучения заходит (или восходит — это безразлично) за лунный горизонт, причем в точку захода направлен рентгеновский детектор. Тогда, очевидно, если угловые размеры рентгеновского источника достаточно малы (например, как у звезд), сигнал от него немедленно прекратится, как только источник зайдет. А теперь представим себе, что источник имеет конечные угловые размеры. В этом случае по мере захода за лунный горизонт такого протяженного источника сигнал от него будет уменьшаться постепенно. По характеру изменения сигнала можно будет определить не только угловые размеры источника, но и распределение яркости в нем, т. е. его структуру. Это имеет огромное значение для понимания природы рентгеновских источников. Весьма важно при этом, что Луна вращается вокруг оси очень медленно (полный оборот за месяц). Это дает возможность проводить такие наблюдения с большой точностью и изучать даже очень слабые рентгеновские источники.

Помимо чисто астрономических наблюдений на такой обсерватории могут проводиться и специфические «селено-физические» наблюдения, например, сейсмические, метеорные, корпускулярные и многие другие. Таким образом, есть круг научных проблем, который должен решаться на стационарной лунной обсерватории, в то время как другие проблемы целесообразно решать на специализированных спутниках. Необходимо подчеркнуть, что речь идет о совершенно реальных, ближайших задачах науки, которые будут решаться в семидесятых годах нашего столетия.

Однако начавшееся исследование околоземного космического пространства и Луны — это лишь первый шаг в освоении человечеством Солнечной системы. И уже сейчас мы являемся свидетелями следующего этапа. Речь идет о впечатляющих полетах советских и американских автоматических космических станций на Венеру, Марс и, в самое последнее время, к Юпитеру. В гл. 15 и 16 мы уже использовали основные научные результаты, полученные во время этих выдающихся полетов. Остановимся хотя бы кратко на двух выдающихся достижениях советской космонавтики. Речь идет о мягкой посадке наших космических аппаратов на поверхности Венеры и Марса. Эти великолепные достижения имеют принципиальное значение: ведь впервые со времени существования Солнечной системы предметы с одной планеты переместились на другие! Но здесь речь идет не просто о предметах — эти совершенные создания человеческого разума волею людей как бы изменили генеральный план Солнечной системы. Пока — ничтожно мало, но, как говорится, «лиха

беда начало»... Для посадки на Венеру советской капсуле пришлось преодолеть серьезные трудности, связанные с огромным давлением на поверхности этой планеты, а также с весьма высокой температурой. Преодолев все эти трудности, советская капсула передала бесценной важности научную информацию о температуре, давлении и даже о химическом составе на всей трассе спуска, вплоть до поверхности планеты. Другого типа трудности пришлось преодолеть при выполнении мягкой посадки на Марс. Выпущенная с борта советского космического корабля «Марс-2» капсула преодолела чудовищной силы пылевую бурю, разыгравшуюся в это время на поверхности красной планеты. Скорость ветра достигала 300 *км/час*, что намного больше, чем во время самых свирепых штормов на Земле.

Одновременно с советскими космическими кораблями «Марс-2» и «Марс-3» красную планету исследовал американский «Маринер-9», получивший серию фотографий поверхности Марса, а также его спутников.

Заметим, что до космической эры астрономы понятия не имели о том, как выглядит поверхность Марса. Даже лучшие фотографии планеты не могли разрешить детали поверхности, размеры которых меньше нескольких сот километров. Только полет «Маринера-4» выявил наличие на поверхности Марса кратеров (см. рис. XVIII).

Еще в 1962 г. мы предложили идею окончательного решения проблемы спутников Марса путем их фотографирования с борта автоматической станции, вышедшей на орбиту вокруг Марса. Следует подчеркнуть, что такое фотографирование есть задача далеко не простая. Требуется высокая точность наведения автоматической станции на цель и безупречная работа всех систем. В частности, должна быть обеспечена автоматическая наводка фотографической камеры на спутники.

Эта задача была решена американской автоматической станцией «Маринер-9» в самом конце 1971 г. Фотография, приведенная на рис. XXIX, дает изображение Фобоса, полученное с расстояния 5540 *км*. Этот спутник представляет собой огромную каменистую глыбу, наибольший размер которой достигает 21 *км*. В общем, он имеет овалоидную форму, но поверхность его сильно разрушена. Вверху слева край Фобоса имеет явно «поврежденный» вид: значительный его кусок, по-видимому, откололся в далеком прошлом, когда произошло какое-то сильное столкновение с другим космическим телом.

Вообще поверхность Фобоса вся изрыта кратерами — следами столкновений с какими-то космическими телами, скорее всего — астероидами. На другом снимке, снятом при изменившихся условиях освещенности Фобоса Солнцем, вверху виден огромный кратер с диаметром около 7 *км*, что составляет примерно одну треть размеров спутника. Этот кратер скорее всего образовался при столкновении Фобоса с небольшим астероидом. На обеих фотографиях обращает на себя внимание большая нерегулярность линии терминатора, отделяющей освещенную часть спутника от неосвещенной. Это

говорит о большой «изрытости» поверхности. Полученная на «Маринере-9» фотография другого спутника Марса — Деймоса, приведена на рис. XXX. На этом снимке вблизи терминатора хорошо видны два довольно больших кратера поперечником около 1,5 *км*.

Деймос также имеет овалоидную форму с размерами $12 \times 13{,}5$ *км*. Размеры спутников Марса оказались приблизительно в 1,5 раза больше, чем это принималось раньше (см. начало этой главы). Это объясняется тем, что отражательная способность их поверхностей значительно меньше, чем у Марса, и близка к отражательной способности Луны.

Несомненно, что спутники Марса очень стары, скорее всего, их возраст близок к возрасту Марса и вообще всей Солнечной системы. Это следует из структуры их поверхности, носящей следы интенсивных бомбардировок большим количеством метеоритов. Такая плотность метеоритного вещества могла быть только на ранних этапах эволюции Солнечной системы. Пока еще не ясно, как в процессе эволюции орбиты спутников Марса стали почти круговыми, лежащими почти точно в экваториальной плоскости Марса. Может быть, такие орбиты есть результат воздействия приливов и непрерывной бомбардировки поверхности спутников метеоритными частицами?

В дополнение к двум естественным спутникам сейчас вокруг красной планеты обращаются три заведомо искусственных спутника — два советских: «Марс-2» и «Марс-3» и один американский — «Маринер-9». Они, конечно, маленькие и вряд ли окажутся долговечными — из-за возмущения Солнца они в конце концов врежутся в поверхность Марса. Но что будет через несколько десятилетий? Несомненно, количество и размеры земных искусственных спутников, обращающихся вокруг Марса, станут больше. Кто знает — не будут ли сооружены автоматические обсерватории на Фобосе или Деймосе? Сооружение таких обсерваторий имело бы серьезное значение для систематической службы Солнца.

В главе 14 уже шла речь о замечательном полете американской автоматической межпланетной станции «Пионер-10». Весьма примечательно, что после выполнения программы наблюдения Юпитера «Пионер-10» покинет пределы Солнечной системы и навсегда уйдет в глубины межзвездного пространства. Это произойдет из-за возмущения его движения вокруг Солнца притяжением Юпитера. Ему выпадет редкая доля — блуждать в невообразимо огромных пространствах Галактики многие миллиарды лет. Вероятность его столкновений с каким-либо космическим телом заметной массы, например, с астероидом, невообразимо мала. Непрерывная бомбардировка его поверхности межзвездными атомами водорода через миллиарды лет приведет к образованию на его поверхности своеобразной «окалины». Но общий вид творения рук человеческих не изменится сколько-нибудь существенным образом. Полет «Пионера-10» — это первый прорыв человечества в Галактику.

Есть, конечно, ничтожная, невообразимо малая вероятность того, что когда-нибудь, через многие миллионы лет, неведомые нам

высоко цивилизованные инопланетные существа обнаружат «Пионер-10» и встретят его как посланца чужого, неведомого им, мира... На этот случай внутри «Пионера-10» заложена стальная пластинка с выгравированными на ней рисунком и символами, которые дают минимальную информацию о нашей земной цивилизации (рис. 44). Что же там изображено? Прежде всего, вполне реалистическое изображение представителей человеческой расы. Вверху слева два кружочка символизируют протон и электрон, образующие атом водорода. Горизонтальная линия между ними символизирует знаменитую водородную линию 21 *см*, одновременно являющуюся масштабом

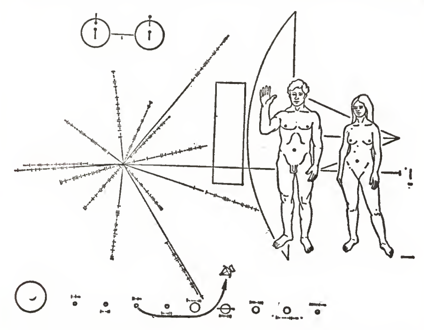


Рис. 44. Стальная пластинка с рисунками и символами станции «Пионер-10».

длины и времени. Отсюда, сравнивая эту метку с размерами изображения человеческих существ, разумные «внеземляне» получат представление о росте людей. Легко убедиться, что рост мужчины около 180 *см*, женщины — 164 *см*...

Внизу дана схема нашей Солнечной системы, откуда была послана пластинка. Большой кружок слева символизирует Солнце. Справа от него в одну линию выстроились 9 планет. Они расположены в порядке растущих расстояний от Солнца. Последние выражены над и под символами соответствующих планет в двоичной системе, причем единицей длины является длина волны линии 21 *см*. От третьей по порядку удаленности от Солнца планеты (Земли) линия идет к шестой (Юпитеру) и кончается стрелкой, над

которой схематически представлено изображение автоматической межзвездной станции «Пионер-10». В большем масштабе это схематическое изображение выгравировано за человеческими фигурами. Заметим, кстати, что конструктивно «Пионер-10» выполнен очень просто: он представляет собой параболическую антенну, сзади которой находится коробка. Особенно любопытна звездообразная фигура в левой части рисунка. Она должна помочь «инопланетчикам» найти то место в Галактике, откуда была запущена межпланетная станция, и время запуска. Каждый луч дает направление от Солнца на пульсар, причем длина луча пропорциональна расстоянию между Солнцем и пульсаром. Периоды соответствующих пульсаров выражены в двоичной системе на каждом отрезке. Они выражены в принятых «натуральных» единицах через частоту, соответствующую линии 21 *см* (1420 *Мгц*). Самый длинный горизонтальный луч дает расстояние от Солнца до центра Галактики.

Надо ясно понимать, что, двигаясь по отношению к ближайшим звездам со скоростью 10—20 *км/сек*, «Пионер-10» достигнет ближайших звезд только через сотни тысяч лет. А за миллионы и десятки миллионов лет периоды пульсаров сильно изменятся — ведь они непрерывно увеличиваются, причем по-разному для разных пульсаров (см. гл. 5). Кроме того, за это время их положение по отношению к Солнцу также изменится. «Инопланетчикам» придется решать не простую задачу: в каком месте Галактики и когда реализовалась ситуация схематически представленная в виде звезды в левой части рис. 44. Но ведь они, наверное, очень умные, знают все пульсары в Галактике наперечет (а их должно быть около 100 000) и знают, по какому закону меняется каждый период...

Страшновато, правда, подумать, что через многие миллионы лет, когда, может быть, эта пластинка будет изучаться инопланетными разумными существами, земной цивилизации уже, вероятно, не будет. Ну, что же — космическая археология — тоже наука...

Если же говорить серьезно, то для инопланетной цивилизации несравненно более вероятно высадиться на Землю, чем найти ее ничтожно малый «осколок» — «Пионер-10».

19

Радиосвязь между цивилизациями, находящимися на различных планетных системах

В 1-й части этой книги были приведены достаточно серьезные аргументы в пользу утверждения, что в Галактике может быть по крайней мере несколько миллиардов планетных систем. Если считать, что при выполнении самых общих условий, обсуждавшихся в гл. 11, на планетах возникает жизнь, число обитаемых миров в Галактике должно быть порядка миллиарда. На некоторых планетах развитие жизни могло зайти так далеко, что появились разумные существа, которые создали цивилизации, вооруженные всеми достижениями науки и техники.

Впрочем, сразу же следует сделать, на наш взгляд существенную, оговорку. Ниоткуда не следует, что в итоге миллиардов лет развития жизни на какой-нибудь планете там с необходимостью должны появиться разумные, овладевшие наукой и техникой, существа. Стать на противоположную точку зрения — значит в действительности считать, что конечной ц е л ь ю образования звезд и планет является возникновение мыслящих существ. Такая точка зрения нам представляется идеалистической. Разумная жизнь на какой-нибудь планете может возникнуть на определенном этапе ее развития, но может и не возникнуть. Не следует забывать, что миллиарды лет Земля существовала без разумных существ и только ничтожный срок, порядка миллиона лет, ее населяют люди. Повторяем, ниоткуда не следует, что появление разумных существ на нашей планете есть з а к о н о м е р н ы й результат и итог развития жизни на ней. С другой стороны, возникновение разумной жизни г д е - н и б у д ь во Вселенной, на н е к о т о р о м количестве планет, обращающихся вокруг своих солнц, по-видимому, есть процесс з а к о н о м е р н ы й.

Трудность проблемы состоит в том, что мы сейчас с о в е р ш е н н о н и ч е г о   н е   м о ж е м   с к а з а т ь, какова вероятность того, что на какой-нибудь планете, где уже возникла жизнь, она к о г д а - н и б у д ь станет разумной. Эта вероятность в самом «оптимистическом» случае может быть близка к единице, но она может быть и очень малой — например, одной миллионной и даже одной миллиардной. Эта проблема была предметом весьма оживленной дискуссии на Бюракан-

ском симпозиуме. Участники дискуссии блистали остроумием, тонкостью и глубиной анализа. К сожалению, это не приблизило нас к пониманию удивительнейшего феномена: каким образом возникшая на планете жизнь становится разумной? В самом «пессимистическом» варианте Земля есть единственная колыбель разумной жизни в Галактике, причем эта разумная жизнь возникла «только что» (разумеется, в космических масштабах времени).

Более естественно, однако, предположить (это предположение, конечно, не доказано), что в Галактике имеется некоторое, может быть даже большое, количество цивилизаций, существенно продвинувшихся вперед по пути технического и научного прогресса. В таком случае возникает интересный вопрос: можно ли и каким образом установить между ними связь? Не приходится доказывать огромное значение этого вопроса. Трудно даже представить, какой импульс получило бы человеческое общество в своем развитии, если бы удалось установить связь с какой-нибудь инопланетной цивилизацией, существенно обогнавшей нас по пути научного и технического прогресса.

Вопрос о возможностях связи с другими мирами впервые анализировался Коккони и Моррисоном в 1959 г. Они пришли к выводу, что наиболее естественный и практически осуществимый канал связи между двумя какими-нибудь цивилизациями, разделенными межзвездными расстояниями, может быть установлен с помощью электромагнитных волн. Очевидное преимущество такого типа связи — распространение сигнала с максимально возможной в природе скоростью, равной скорости распространения электромагнитных волн, и концентрация энергии в пределах сравнительно небольших телесных углов без сколько-нибудь значительного рассеяния.

Требование, чтобы электромагнитные волны не испытывали заметного поглощения при распространении как в межзвездной среде, так и в атмосферах планет, сразу же ограничивает возможный диапазон длин волн. Прежде всего, длина волны, на которой осуществляется межзвездная связь, не должна быть слишком большой. В противном случае излучение будет поглощаться межзвездной средой. Коккони и Моррисон считали, что предельная длина волны должна быть около 300 *м*, что соответствует частоте 1 *Мгц*. Однако такое длинноволновое излучение не будет проходить через атмосферы планет. Оно поглотится в верхних слоях их атмосфер, где газ должен быть частично ионизован. Не приходится сомневаться, что все планеты должны иметь ионосферы. Через такие ионосферы беспрепятственно будет проходить только такое излучение, длина волны которого меньше 10—15 *м*. Ограничение со стороны коротких волн обусловлено поглощением, которое вызывается различными молекулами, входящими в состав планетных атмосфер. Уже начиная с длины волны 3 *см*, электромагнитные волны могут поглощаться молекулами водяных паров.

Таким образом, согласно Коккони и Моррисону межзвездная связь может в принципе осуществляться только на волнах короче

300 *м* и длиннее 3 *см*. Учет поглощения в планетных атмосферах снижает верхнюю границу этого интервала длин волн до 10—15 *м*. Необходимо, однако, отметить, что если приемная и передающая аппаратура для межзвездной связи будет вынесена за пределы планетных атмосфер (например, помещена на искусственных спутниках), то диапазон частот, на которых возможно осуществление межзвездной связи, будет значительно расширен.

Следует отметить, что условия распространения электромагнитных волн в межзвездной среде и в планетных атмосферах не являются единственным обстоятельством, определяющим возможные значения длин волн, на которых может осуществляться межзвездная

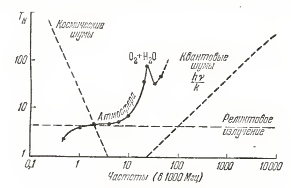


Рис. 45. Спектр шумов в радиодиапазоне.

связь. Не меньшее значение имеет уровень помех. Ведь из-за огромных расстояний, разделяющих инопланетные цивилизации, мощности принимаемых сигналов должны быть очень малы. Но сама Вселенная по причинам естественного порядка излучает в той или иной степени на всех диапазонах волн. Если говорить о радиодиапазоне (который, собственно говоря, только и рассматривался Коккони и Моррисоном), то радиоизлучение Галактики и Метагалактики является серьезной помехой для обнаружения слабых сигналов искусственного происхождения. Космическое радиоизлучение имеет непрерывный спектр, причем интенсивность его, рассчитанная на единичный интервал частот, растет с уменьшением частоты.

К числу помех для межзвездной радиосвязи следует отнести также тепловое радиоизлучение планетных атмосфер. Оно особенно существенно на волнах сантиметрового, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Наконец, на высоких частотах основными помехами являются квантовые шумы, неизбежные даже для идеальных приемников излучения. Эти шумы есть следствие дискретной «фотонной» природы потоков излучения; их «температурным эквивалентом» является величина $h\nu/k$, где h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, ν — частота. На рис. 45 приведена зависимость «температуры шумов»

от частоты (пунктирная кривая). Сплошная кривая — шумы, обусловленные излучением молекул атмосферы. Из этого рисунка видно, что минимальный уровень помех (с учетом излучения атмосферы) имеет место для интервала частот 10^3—10^4 *Мгц*, что соответствует интервалу длин волн 30—3 *см*.

Теперь представим себе, что на какой-нибудь планете, обращающейся вокруг некоторой звезды, имеется высокоразвитая цивилизация, которая желает известить о своем существовании. Для этого она посылает в некотором направлении (например, в направлении на звезду, около которой можно ожидать наличие разумной жизни) радиосигнал. Сразу же эта цивилизация столкнется с такой трудностью: звезда, вокруг которой обращается планета — обитель разумной жизни, является довольно мощным источником радиоизлучения, спектр которого непрерывен. Чтобы искусственный сигнал не «потонул» в радиоизлучении этой звезды, необходимо, чтобы его мощность была по крайней мере сравнима с мощностью радиоизлучения звезды в соответствующем диапазоне.

Будем считать, что звезда излучает в радиодиапазоне, подобно нашему Солнцу, когда на нем нет пятен (так называемое «радиоизлучение спокойного Солнца»). Для определенности будем рассматривать волну 10 *см*. Известно, что на этой волне спокойное Солнце излучает как нагретое тело с температурой поверхности около 50 тыс. °K. Мощность радиоизлучения Солнца $W_{\odot}$, рассчитанную на единичный интервал частот, можно определить, если воспользоваться формулой Релея — Джинса

$$W_{\odot} = \frac{2\pi k T_b}{\lambda^2} 4\pi R_{\odot}^2,$$

где $\lambda = 10$ *см* — длина волны; $k = 1{,}38 \cdot 10^{-16}$ *эрг/град* — постоянная Больцмана; $R_{\odot} = 7 \cdot 10^{10}$ *см* — радиус Солнца; $T_b = 50$ тыс. °K — яркостная температура спокойного Солнца на волне 10 *см*. Выполнив вычисления, получим

$$W_{\odot} = 2{,}6 \cdot 10^{10} \text{ эрг/сек·гц} = 2{,}6 \cdot 10^3 \text{ вт/гц}.$$

Следует иметь в виду, что Солнце излучает на всех частотах, поэтому полная мощность радиоизлучения спокойного Солнца очень велика, порядка десятков миллиардов киловатт. Но искусственный сигнал может иметь очень узкую спектральную полосу, например несколько тысяч или даже несколько сотен герц. Кроме того, Солнце излучает одинаково по всем направлениям, в то время как, пользуясь достаточно большой антенной, можно почти всю мощность искусственного сигнала сосредоточить в пределах узкого конуса, угол раствора которого близок к $\frac{\lambda}{D}$ (λ — длина волны, D — диаметр зеркала антенны). Этот конус определяет «главный лепесток» антенны (рис. 46). Если, например, пользоваться антенной диаметром 300 *м* (такие антенны у радиоастрономов имеются), то на волне 10 *см* обус-

ловленный направленным действием антенны «выигрыш» будет равен

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2},$$

где A — эффективная площадь антенны, близкая к ее геометрической площади. В нашем случае $G \approx 10^8$. Это означает, что в направлении, перпендикулярном к поверхности зеркала, антенна излучает в 100 млн. раз больше, чем Солнце, при условии, что полная мощность, излучаемая ею по всем направлениям, такая же, как у Солнца.

Следовательно, даже если мощность передатчика будет всего лишь около 10^{-5} *вт/гц*, сигнал от него в направлении главного лепестка будет примерно такой же, как от Солнца *).

Таким образом, собственное радиоизлучение звезд, около которых находятся высокоразвитые цивилизации, практически не может быть помехой для межзвездной радиосвязи. Гораздо более существенной помехой является фон космического радиоизлучения, из которого должен быть выделен сигнал искусственного происхождения. Величина последнего в радиоастрономии определяется так называемой антенной температурой T_A:

$$T_A = \frac{1}{k}\,\frac{W}{R^2}\,\frac{\pi^2}{16}\,\frac{d_1^2 d_2^2}{\lambda^2},$$

Рис. 46. Диаграмма направленности антенны (схема).

где d_1 — диаметр приемной антенны, d_2 — диаметр передающей антенны, R — расстояние до передатчика, W — мощность передатчика, рассчитанная на 1 *гц*. С другой стороны, разумно наложить условие, чтобы антенная температура, создаваемая искусственным источником радиоизлучения, была не меньше яркостной температуры неба на соответствующей частоте T_b. Теперь мы можем сформулировать «условие обнаружимости» сигнала

$$T_A \geqslant T_b.$$

Следует, однако, отметить, что в ряде случаев «полезный сигнал» может быть обнаружен и тогда, когда $T_A < T_b$, например $T_A = 0{,}1\ T_b$. Однако мы сейчас будем пользоваться критерием $T_A \geqslant T_b$.

Полагая $d_1 = d_2 = 100$ *м*, $W = 100$ *вт/гц*, $\lambda = 10$ *см*, из условия $T_A = T_b$ найдем, что $R \approx 10^{19}$ *см*, т. е. около 10 световых лет; это соответствует расстоянию до ближайших звезд. Тем самым доказано, что уровень современной земной радиотехники вполне позволяет осуществить радиосвязь на межзвездных расстояниях.

*) Узкополосность искусственного радиосигнала в сочетании с его направленностью позволяет получать информацию с борта космической ракеты, даже если она идет в направлении на Солнце.

Этот удивительный результат стоит как-то осмыслить. На памяти старшего поколения наших современников произошло установление трансатлантической радиосвязи. В 1945 г. впервые посланный на Луну сигнал, отразившись от нее, был принят на Земле. Через 14 лет, в 1959 г. была осуществлена радиолокация Венеры. Это значительно более трудная задача, чем радиолокация Луны, потому что, как известно, мощность радиолокационного передатчика должна быть пропорциональна четвертой степени расстояния до цели. В 1961 г. советская космическая ракета стартовала в сторону Венеры, причем на некотором участке ее траектории с ней поддерживалась радиосвязь. В настоящее время можно уже говорить о вполне уверенной и надежной радиосвязи с космическими ракетами на расстоянии свыше миллиарда километров (вспомним «Пионер-10»). При этом следует иметь в виду, что бортовая радиоаппаратура, установленная на космических ракетах, по ряду причин должна быть малогабаритной и маломощной. Между тем при осуществлении связи на межзвездных расстояниях будут использоваться самые большие из существующих стационарных радиотелескопов. На рис. XXXI—XXXIII приведены фотографии некоторых таких антенн. Пока рекордной является гигантская антенна (диаметр зеркала 300 *м*), построенная «на базе»... кратера потухшего вулкана в Пуэрто-Рико (рис. XXXIV).

Наряду с ростом размеров антенн в последние годы резко увеличилась чувствительность приемной аппаратуры на сантиметровом и дециметровом диапазонах. Это достигнуто благодаря широкому применению квантовых усилителей — так называемых «мазеров». Такая аппаратура в сочетании с огромными, достаточно точно изготовленными антеннами позволяет обнаружить сигнал от «точечного» источника (каков, в частности, искусственный сигнал космического происхождения) даже в том случае, когда T_A значительно меньше T_b.

Рассмотрим этот вопрос более подробно. Если антенна в сочетании с приемником принимает сигнал от источника строго постоянной интенсивности, то, как оказывается, показания измерительного прибора, стоящего на выходе приемника (например осциллографа), не будут постоянны. По ряду причин одно независимое показание прибора будет более или менее значительно отличаться от другого. Эти флуктуации показаний прибора можно уменьшить, но полностью устранить их нельзя, так как они являются неизбежным следствием основных принципов работы приемника.

На рис. 47 приведена типичная запись регистрирующего прибора, показывающая такие флуктуации. Существует формула, дающая «среднее квадратичное» значение таких флуктуаций в зависимости от некоторых характеристик приемника. Эта формула имеет вид

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{\sqrt{\tau \Delta f}},$$

где T — измеряемая «температура шумов» (пропорциональна «поглощенной» антенной мощности космического радиоизлучения плюс

мощности шумов, возникающих в приемной аппаратуре), ΔT — флуктуации измеряемой «шумовой» температуры, о которых речь шла выше, τ — время, в течение которого регистрирующий прибор на выходе приемника (осциллограф) «накапливает» поступающую в него после детектирования мощность, Δf — ширина полосы частот, усиливаемых приемником («ширина полосы пропускания приемника»).

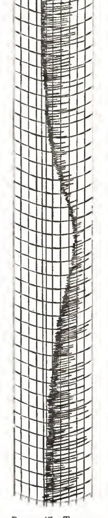


Рис. 47. Типичная запись космического радиоизлучения.

Условие обнаружения какого-нибудь слабого сигнала состоит в том, что антенная температура, обусловленная этим сигналом, должна быть не меньше, чем флуктуации ΔT. Запишем это условие:

$$T_A \geqslant \Delta T = \frac{1}{\sqrt{\tau\Delta f}}.$$

Для волн сантиметрового диапазона яркостная температура неба около 10 °К. Между тем температура собственных шумов современных приемников на этом диапазоне может быть 50—100° (если пользоваться квантовыми усилителями). Поэтому уровень, вокруг которого происходят флуктуации, определяется только шумами аппаратуры и «шумовую» температуру в написанных выше формулах можно положить равной $T=50°$. Теперь перепишем наше неравенство:

$$\frac{1}{k}\,\frac{W}{R^2}\,\frac{\pi^2}{16}\,\frac{d_1^2 d_2^2}{\lambda^2} \geqslant T\,(\tau\Delta f)^{-1/2},$$

откуда

$$R \leqslant \frac{W^{1/2}}{k^{1/2}}\,\frac{\pi}{4}\,\frac{d_1 d_2}{\lambda}\,\frac{(\tau\Delta f)^{1/4}}{T^{1/2}}.$$

Последняя формула позволяет определить дальность межзвездной радиосвязи в зависимости от мощности передатчика, размеров передающих антенн и характеристик приемника. Пусть $d_1=d_2=100$ *м*, $\tau=100$ *сек*, $\Delta f=10^4$ *гц*. Какой должна быть мощность передатчика, чтобы осуществить связь на расстоянии 10 *пс* или 30 световых лет? Из нашей формулы после несложных вычислений следует, что необходимая мощность передатчика должна быть равна 10 *квт* — величина с точки зрения современной радиотехники очень скромная. По астрономическим понятиям эта мощность совершенно ничтожна. Например, мощность радиоизлучения спокойного Солнца на деци-

метровом диапазоне порядка 10^9 *квт*. Между тем нет никакой надежды обнаружить его излучение с расстояния ближайшей звезды. Это объясняется тем, что Солнце излучает одинаково сильно по всем направлениям (изотропно) и в широкой спектральной области, тогда как пучок радиоволн искусственного происхождения достаточно узок и монохроматичен.

Выше было показано, что наиболее целесообразно осуществлять межзвездную радиосвязь на частотах в интервале 1—10 тыс. *Мгц*. Однако этот интервал все-таки очень широк, и при узкой полосе частот сигнала последний почти невозможно будет обнаружить, если заранее не знать его частоту более точно. Коккони и Моррисон предложили очень изящную идею, указав частоту, на которой искусственные сигналы следует искать в первую очередь. Дело в том, что сама природа дает стандартный эталон частоты, который находится в интересующем нас диапазоне. Речь идет о частоте радиолинии водорода 21 *см* (см. гл. 3). Эта частота равна 1420 *Мгц*. Можно не сомневаться, что высокоорганизованная цивилизация на определенном (довольно раннем) этапе своего развития должна открыть эту линию в спектре космического радиоизлучения. Исследования Вселенной на волне 21 *см* являются мощнейшим методом познания ее природы. Именно на этой волне следует ожидать наличия самой чувствительной и совершенной аппаратуры. Кроме того, водород — самый распространенный элемент во Вселенной, а частота 1420 *Мгц* как бы его «основная частота». Логически неизбежен вывод, что язык самой природы должен быть понятен и универсален для всех разумных существ Вселенной, как бы сильно они ни отличались друг от друга. Законы природы объективны и поэтому одинаковы для всех разумных существ. В этом глубокая материалистическая сущность блестящей идеи Коккони и Моррисона. Итак, вероятнее всего, что сигнал должен быть на частоте 1420 *Мгц* (впрочем, см. гл. 25).

Нельзя, однако, исключить, что частота сигнала будет равна некоторому целому кратному от основной «водородной» частоты. Дело в том, что фон неба на волне 21 *см* все-таки довольно высок. Ведь на этой волне излучают межзвездные атомы водорода. В направлениях, составляющих сравнительно небольшой угол с галактической плоскостью, яркостная температура неба может достигать 50 и даже 100°. Между тем на удвоенной частоте 2840 *Мгц* фон неба меньше 10 °K. Кроме того, при связи на расстояния свыше 3 тыс. световых лет (это для нас пока еще недоступно, но для высокоорганизованной цивилизации может быть вполне реальным) сигнал может сильно поглощаться межзвездными атомами водорода. (В том случае, когда сигнал распространяется под небольшим углом к галактической плоскости.)

В качестве «космической частоты» предлагалась также частота молекулярной линии OH, равная 1667 *Мгц* (см. гл. 3) или промежуток между 1667 и 1420 *Мгц*. Думается, что этот вопрос не так уж принципиален.

Теперь мы должны перейти к следующему, довольно важному вопросу. Как распознать *искусственную* природу сигнала? Прежде всего, следует ожидать, что мощность такого сигнала должна регулярно меняться со временем. Другими словами, сигнал должен быть модулирован. Он может состоять, например, из регулярной последовательности сравнительно коротких импульсов, причем одна последовательность может быть отделена от другой более или менее значительным промежутком времени. Число импульсов в каждой последовательности может, например, изображать натуральный ряд чисел — понятие, по-видимому, общее для всех цивилизаций. В то же время длительность каждого импульса не должна быть слишком малой — иначе нельзя будет использовать при приеме таких сигналов достаточно большого «времени накопления» τ, что нужно для увеличения дальности связи. Можно полагать, что длительность каждого импульса не меньше нескольких часов. Сигнал может содержать сколь угодно сложную информацию. Но на первых порах он, по-видимому, должен быть достаточно простым *). После того как сигнал будет принят (если, конечно, это случится), между цивилизациями будет установлена двусторонняя радиосвязь, и тогда можно начать обмен более сложной информацией. Конечно, не следует при этом забывать, что ответы могут быть получены не раньше, чем через несколько десятков или даже сотен лет... Однако исключительная важность и ценность таких переговоров безусловно должна компенсировать их медленность.

Даже если не удастся по тем или иным причинам установить регулярные изменения мощности сигналов со временем, их искусственный характер довольно скоро выявится при систематических наблюдениях. Дело в том, что лучевая скорость передатчика по отношению к приемнику будет периодически меняться вследствие обращения планеты, на которой находится передатчик, вокруг звезды. Из-за эффекта Доплера это приведет к периодическому изменению частоты сигнала. Орбитальные скорости планет должны быть порядка нескольких десятков километров в секунду. Поэтому амплитуда периодических изменений частоты может достигать сотни килогерц, что в десятки раз больше ширины полосы частот, в которой может находиться сигнал. Период таких изменений должен быть от нескольких месяцев до нескольких лет (вероятные значения периода обращения планеты вокруг звезды). Анализ такого сигнала сразу же позволит получить важную информацию о продолжительности года на далекой планете, посылающей сигнал.

Следует также ожидать периодических изменений частоты сигнала из-за суточного вращения планеты, на которой находится передатчик. Так как скорость вращения планеты вокруг своей оси, скорее всего, меньше ее орбитальной скорости, такие периодические изменения частоты должны иметь сравнительно небольшую амплитуду, не выходящую, например, за пределы полосы частот сигнала.

*) Более подробно о природе сигналов см. гл. 22.

Однако тщательные наблюдения смогут их выявить. Таким образом, станет известной другая важнейшая характеристика посылающей искусственный сигнал планеты — продолжительность суток на ней.

Дополнительный анализ сигналов позволит извлечь из них ряд других важных сведений о природе планеты. Так, например, после того как удастся отождествить звезду, вокруг которой обращается планета, можно будет по ее спектральному классу довольно уверенно определить ее массу (ведь это же, скорее всего, звезда главной последовательности, см. гл. 2). Зная период обращения планеты (из наблюдений доплеровского смещения сигнала), при помощи третьего закона Кеплера можно найти расстояние между планетой и звездой. Тем самым можно будет сделать грубую оценку физических условий на планете, прежде всего средней температуры ее поверхности.

Зная скорость вращения планеты вокруг ее оси и продолжительность суток на ней, по измеренной амплитуде и периоду «суточных» изменений частоты сигнала можно, очевидно, определить радиус планеты. Более подробный анализ позволит даже определить широту того места планеты, где установлен передатчик, а также, возможно, и другие интересные характеристики. И все эти важные сведения могут быть получены только из систематических тщательных наблюдений изменений частоты сигнала.

Хотя идея Коккони — Моррисона на первый взгляд кажется совершенно необычной и даже фантастической, приходится только удивляться тому, как быстро она стала реализоваться. В 1960 г. американский радиоастроном Дрэйк на Национальной радиоастрономической обсерватории в Грин Бэнк (Западная Виргиния) разработал специальную приемную аппаратуру для наблюдений искусственных инопланетных сигналов в диапазоне 21 *см*. Этот вполне серьезный проект получил название «ОЗМА». На рис. 48 приведена блок-схема приемника Дрэйка.

Мы не можем здесь детально останавливаться на технических подробностях описания этой схемы. Те из читателей, которые разбираются в радиотехнике, поймут ее сами. Мы ограничимся только приближенным рассмотрением. Приемник, схема которого изображена на рис. 48 представляет собой очень стабильно работающий узкополосный (так как ожидаемый сигнал должен быть узкополосным) супергетеродин. В фокусе большой 27-метровой антенны находятся два рупора, схематически изображенных в левом верхнем углу рис. 48. В один из рупоров поступает излучение от небольшой области неба, около исследуемой звезды, вокруг которой, как можно ожидать, обращается планета с передатчиком. В другой рупор поступает излучение от соседней области неба, откуда искусственных сигналов ожидать не приходится. Оба рупора при помощи электронного устройства попеременно подключаются к входу приемника. Таким образом, радиотелескоп попеременно как бы «смотрит» то на звезду, то на соседний участок неба. По этой причине «полезный» сигнал периодически прерывается с той частотой, с которой переключаются рупоры на вход приемника. Следовательно, в цепи приемника

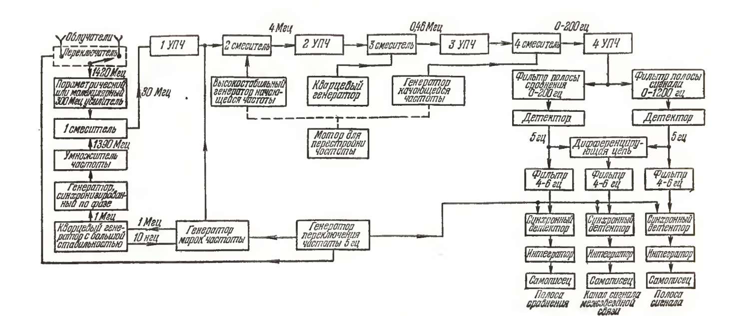


Рис. 48. Блок-схема приемника Дрэйка.

он имеет вид коротких импульсов, регулярно повторяющихся с частотой переключения через совершенно определенные промежутки времени. Синхронный детектор, установленный перед выходом приемника, выделяет эту переменную составляющую тока. Такая схема с теми или иными видоизменениями, широко используемая в радиоастрономии, называется «модуляционной». Она позволяет выделить полезный сигнал даже в тех случаях, когда он значительно слабее аппаратурных шумов. Однако сколь угодно слабый сигнал таким способом нельзя обнаружить, так как неизбежные флуктуации показаний регистрирующего прибора накладывают естественное ограничение на величину принимаемого сигнала (см. выше). Но модуляционная схема в ряде случаев позволяет получить чувствительность, близкую к предельно возможной, которая дается формулой

$$\Delta T = T\,(\tau\Delta f)^{-1/2}.$$

Как видно из схемы, приведенной на рис. 48 в приемнике последовательно происходят четыре преобразования частоты сигнала. Это необходимо было сделать потому, что «окончательная» промежуточная частота приемника должна быть низкой, так как ожидаемый сигнал узкополосный. Преобразования частоты осуществляются (как это обычно в супергетеродиновых приемниках) при помощи смесителей. У соответствующих генераторов должна быть очень высокая стабильность частоты. Последняя не должна меняться больше чем на 1 *гц* за 100 сек. Особенно высокая стабильность требуется от первого генератора, так как его частота очень высока — 1390 *Мгц*.

После четырех усилений по промежуточной частоте сигнал разделяется на два, затем проходит через фильтры. Один фильтр широкополосный, другой узкополосный. Эти фильтры устроены таким образом, что, когда через них проходит широкополосный сигнал, токи на их выходе одинаковы. Поэтому если при помощи некоторого дополнительного устройства произвести вычитание токов, то на выходе получится нуль.

Однако если через фильтры проходит узкополосный сигнал, то ток на выходе узкополосного фильтра будет больше, чем на выходе широкополосного, и после «вычитания» токов результат уже не будет равен нулю. Следовательно, рассматриваемый приемник чувствителен только к узкополосным сигналам. Ширина полосы пропускания узкого фильтра может меняться, причем связанная с этим перестройка приемника занимает мало времени. Как видно из схемы, фильтры стоят перед синхронным детектором и пропускают только частоту переключения, на которую последний и реагирует.

На выходе синхронного детектора сигнал будет получен только в том случае, когда в приемник поступает узкополосный сигнал, причем направление прихода сигнала соответствует направлению на исследуемую звезду. На рис. 49 приведена фотография некоторых

блоков этого приемника, а на рис. 50 — фотография 27-метрового радиотелескопа, снятая во время наблюдений по проекту «ОЗМА».

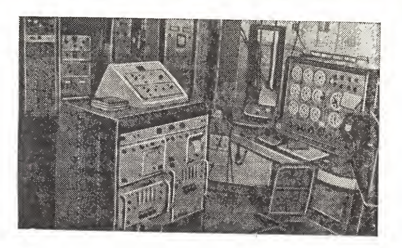


Рис. 49. Приемная аппаратура «ОЗМА».

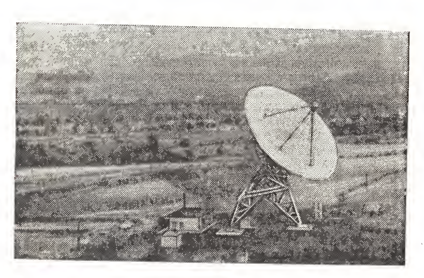


Рис. 50. Радиотелескоп Грин Бэнк (диаметр зеркала 27 м) во время наблюдений по проекту «ОЗМА».

В качестве первых объектов, откуда можно ожидать сигналов радиоизлучения искусственного происхождения, Дрэйк выбрал две близкие к нам звезды — ε Эридана и τ Кита, которые удалены от Солнца на расстояние около 11 световых лет. Об этих звездах,

как о возможных источниках жизни на обращающихся вокруг них планетах, речь шла в гл. 11. Наблюдения начались осенью 1960 г. и с большой тщательностью проводились в течение нескольких месяцев. Увы, искусственные сигналы обнаружены не были...

В 1971 г. аналогичные наблюдения были проведены на 100- и 45-метровом радиотелескопах Национальной радиоастрономической обсерватории США. Объектом наблюдений были 10 ближайших к нам звезд, преимущественно красных карликов. Из отрицательного результата этих наблюдений следует, что около исследовавшихся звезд не работали передатчики, которые бы в узкой полосе (7 *Кгц*) со 100-метровой антенной излучали бы мощность, превышающую несколько мегаватт. Заметим, что таких передатчиков на Земле много. Надо ясно понимать, что шансы на успех таких наблюдений невелики. Вполне возможно и даже, по нашему мнению, гораздо более вероятно, что ближайшие цивилизации находятся от нас на значительно большем расстоянии, чем звезды, исследовавшиеся Дрэйком и его последователями.

Если, например, ближайшая такая цивилизация находится на расстоянии 100 световых лет, в высшей степени затруднительно решить, какую из десятка тысяч звезд, удаленных на такое расстояние, нужно тщательно исследовать методом Дрэйка. Исследовать же подряд десятки тысяч звезд представляется слишком сложным и дорогим занятием, по крайней мере для нашей цивилизации.

Спустя 11 лет после первых попыток установления радиоконтактов с внеземными цивилизациями в рамках проекта «ОЗМА», на Бюраканском симпозиуме выступил с обобщающим по этой проблеме докладом сам автор проекта Дрэйк. Оценивая возможности гигантского радиотелескопа Аресибо (см. рис. XXXIV), он пришел к заключению, что при мощности передатчика $P=1000$ *квт*, коэффициенте направленности антенны радиотелескопа $G=10^6$, шумовой температуре приемника $T=120°$, ширине полосы $B=100$ *Мгц* и времени накопления сигнала $\tau=100$ сек. сигнал может быть обнаружен от объектов, удаленных от нас на расстояния до 6000 световых лет! Проблема, однако, состоит в том, чтобы знать, хотя бы ориентировочно, класс объектов, от которых можно такой сигнал ожидать. В противном случае задача становится неопределенно трудной.

На этом симпозиуме известный советский радиоастроном В. С. Троицкий доложил о новых попытках найти искусственные радиосигналы от ближайших планетных систем. Это были первые после проекта «ОЗМА» реальные наблюдения возможных сигналов. В. С. Троицкий и его сотрудники, так же как и Дрэйк, искали сигналы на волне 21 *см*. Ими систематически исследовались 12 звезд, в основном спектрального класса G, удаленных от нас на расстояния 10—60 световых лет. Всего было проведено 65 сеансов (по 5 сеансов на каждую звезду). Длительность каждого сеанса составляла 15 мин. Общее время наблюдений было 16 час. Заметим, что чувствительность приемной аппаратуры была довольно низка — около $2\cdot10^{-22}$ *вт/м²·гц* (такой поток радиоизлучения на метровых волнах

дает самый яркий космический источник радиоизлучения — Кассиопея А). Результаты этих наблюдений были отрицательны. В дальнейшем В. С. Троицкий планирует новые наблюдения со значительно более высокой чувствительностью.

В США работы по поискам внеземных цивилизаций проводились также по программе «Циклоп». Об этом доложил на Бюраканском симпозиуме проф. Оливер. Для приема ожидаемых сигналов от внеземных цивилизаций использовалась, без особых переделок, наличная радиоприемная техника. Наблюдения, носящие любительский характер, проводились на сантиметровых волнах и не дали положительных результатов. Проф. Оливер, однако, разработал проект гигантского радиотелескопа, специально предназначенного для поиска радиосигналов от внеземных цивилизаций. Стоимость этого проекта достигает миллиардов долларов. Для научного прибора эта величина может показаться фантастически большой. Но не следует забывать, что американское правительство ежегодно расходовало на варварскую войну во Вьетнаме гораздо бóльшие суммы...

Советский радиоастроном Ю. Н. Парийский на Бюраканском симпозиуме предложил другой путь реализации проекта установления радиоконтакта с внеземными цивилизациями. Это — создание «глобального радиотелескопа», сводящееся в объединение всех существующих на Земле крупных радиотелескопов в единую систему. В сочетании с радиотелескопами, вынесенными в космос, мы будем иметь исключительно эффективное устройство для поисков радиосигналов от внеземных цивилизаций.

Таким образом, недостатка в проектах нет... Однако реальных наблюдений проводилось пока очень мало. Да и сами наблюдения не были должным образом обеспечены. Они несли, по существу, «рекогносцировочный» характер. Есть, однако, основания полагать, что в близком будущем положение коренным образом изменится к лучшему. И основная задача Бюраканского симпозиума состояла в том, чтобы наметить пути реального прогресса в этой важнейшей области.

Пока сделаны только первые шаги в направлении «подслушиваний» межзвездных переговоров. Может быть, недалеко то время, когда мы начнем «возвещать» о своем существовании путем посылки радиосигналов в космос. Не надо быть эгоистами... Легко понять, что будет, если все галактические цивилизации будут работать только на прием и ничего в космос передавать не будут...

Все же пионерские исследования Дрэйка и Троицкого имеют принципиальное значение для развития нашей культуры. Как справедливо заметили Моррисон и Коккони, шансы на успешный исход таких поисков невелики, но они будут точно равны нулю, если ничего не делать...

20

Возможность осуществления межзвездной связи оптическими методами

В предыдущей главе мы довольно подробно обсуждали возможности радиосвязи между инопланетными цивилизациями. Является ли, однако, радиосвязь единственно возможным видом связи на межзвездных расстояниях? Несомненно, радиоволны для такой задачи обладают рядом ценных преимуществ. Основные преимущества — сравнительно малая мощность передатчика, посылающего сигналы на расстояния в десятки световых лет и дальше, возможность легко отделить искусственный сигнал от теплового радиоизлучения звезды и высокая разрешающая способность по частоте у приемной аппаратуры. Последнее свойство после детального изучения сигнала позволяет получить ряд важных сведений об излучающей его планетной системе, а также информацию о разумных существах, ее населяющих.

Несмотря на все очевидные преимущества радиосвязи между удаленными на межзвездные расстояния цивилизациями, необходимо все же обсудить другие возможные типы связи. В первую очередь мы рассмотрим интересный вопрос о возможности такой связи на очень высоких частотах оптического и примыкающих к нему диапазонов.

Казалось бы, посылка от одной планеты к другой по возможности узкого светового пучка — очевидное, принципиально простое, средство связи. Однако на пути осуществления такого «межзвездного прожектора» встречаются очень большие трудности. Дело в том, что прожекторы обычного типа, даже самые совершенные, посылают не параллельный пучок света, а слегка расходящийся, что объясняется невозможностью создать точечный источник света в фокусе. Вот в этом-то «слегка» и заложена вся трудность проблемы. Если на обычных, «земных» расстояниях расхождение пучка из-за его непараллельности сравнительно невелико, то на межпланетных, не говоря уже о межзвездных, расстояниях оно становится уже недопустимым. Пусть, например, угол раствора конуса, в котором сосредоточен поток излучения, посылаемый про-

жектором, равен 30 мин. дуги, как у лучших из современных прожекторов. Тогда на расстоянии 50 *км* диаметр сечения луча прожектора будет около 450 *м* и поток энергии через единицу поверхности (определяющий освещенность предмета, на который направлен прожектор) будет еще достаточно велик. Например, если мощность излучения прожектора равна 10 *квт*, поток энергии через 1 $см^2$ на расстоянии 50 *км* от нашего прожектора будет $5 \cdot 10^{-6}$ *вт*. Хотя эта величина в несколько десятков тысяч раз меньше потока солнечного излучения, в ночных условиях предмет будет освещен и вполне заметен.

Теперь представим себе, что такой прожектор посылает луч на Луну, чтобы, например, осветить ее темную часть. Так как среднее расстояние до Луны 380 тыс. *км*, диаметр пятна будет уже около 3 тыс. *км*. При этом освещенность поверхности Луны будет в 100 млрд. раз меньше, чем от Солнца, и в 10 млн. раз меньше, чем освещенность, создаваемая на темной стороне Луны светом, отраженным от Земли («пепельный свет» Луны).

Совершенно ясно, что какого-либо светлого пятна на поверхности Луны от такого прожектора мы не обнаружим. Следует, однако, заметить, что с Луны такой прожектор был бы виден как звезда приблизительно 3-й величины и даже на ярком фоне освещенной Солнцем Земли был бы заметен. Но уже с расстояния порядка 100 млн. *км* (что соответствует расстоянию до Марса или Венеры) наш прожектор был бы виден как слабая звездочка 15-й величины, т. е. примерно такая же, как спутники Марса, если их наблюдать с Земли. Ясно, что, если прожектор установлен на поверхности Земли, его никак нельзя будет наблюдать. Только в том случае, если он будет помещен на искусственном спутнике Земли, достаточно удаленном от ее поверхности, он может быть обнаружен с Марса или Венеры. Разумеется, при этом необходимо, чтобы луч прожектора был направлен с большой точностью на эти планеты.

Что же касается межзвездных расстояний, то и без всяких вычислений видно, что попытка обнаружить прожектор была бы совершенно безнадежной. Кроме того, в этом случае мы столкнулись бы с новой трудностью решающего характера: излучение Солнца в направлении оси прожектора на много порядков больше излучения самого прожектора. Таким образом, даже самые лучшие из современных прожекторов совершенно не в состоянии послать обнаружимый сигнал на межзвездные расстояния.

Положение, однако, коренным образом изменилось в последние годы в связи с усиленной разработкой квантовых усилителей и генераторов излучения. В радиодиапазоне это привело к изготовлению приемников сверхвысокой чувствительности, так называемых мазеров, о чем речь шла в предыдущей главе. Те же принципы, будучи примененными к оптическому и инфракрасному диапазону частот, привели к осуществлению исключительно важных и особенно перспективных приборов, получивших название «лазеров». Здесь нас не интересуют возможности использования лазеров как весьма

эффективных усилителей света. Для нашей проблемы особый интерес представляют лазеры — генераторы пучков видимого и инфракрасного излучения.

Нас бы очень далеко завело обсуждение физических принципов работы лазеров. Желающих ознакомиться с этим вопросом мы отсылаем к книге Б. Лендьела «Лазеры», «Мир», 1964. Мы здесь интересуемся лазерами с «потребительской» точки зрения, что для наших целей совершенно достаточно.

Основой современных лазеров (так же, как и мазеров) является некоторое «рабочее вещество», которое может быть и твердым и газообразным. На заре развития лазерной техники в качестве такого вещества использовался преимущественно синтетический рубиновый кристалл. В последние годы «твердотельным» рабочим веществом лазеров является стекло, активированное неодимом. Такие лазеры работают на волне 1,06 *мк*. Наряду с этим в последнее время большое распространение получили газовые лазеры, где рабочим веществом является углекислый газ CO_2. Благодаря специфическим свойствам «рабочего вещества» при определенных условиях с его поверхности в направлении нормали выходит почти параллельный и в высокой степени монохроматический пучок излучения. Современные лазеры могут работать в двух разных режимах. В одном случае лазер может посылать очень короткие импульсы излучения, длительностью до 10^{-12} *сек*. У современных «твердотельных» лазеров энергия, излученная в каждом из таких ультракоротких импульсов, может доходить до 10 *дж*. Длительность импульсов может быть значительно больше, и тогда энергия, содержащаяся в импульсе, естественно, увеличивается. Например, в режиме «свободной генерации» длительность импульса порядка тысячной доли секунды, а энергия в каждом импульсе может доходить до нескольких тысяч джоулей.

Газовые лазеры, использующие CO_2 в качестве «рабочего вещества», могут работать в режиме непрерывной генерации, излучая мощность в несколько десятков киловатт. Так как излучение лазера синфазно по всей его поверхности, то, как известно из оптики, угловая ширина посылаемого им пучка будет равна $\frac{\lambda}{D}$, где λ — длина волны света, D — размеры блока «рабочего вещества». Отсюда следует, что даже у современных лазеров размером всего лишь в 1 *см* угол раствора светового пучка равен приблизительно $5 \cdot 10^{-5}$ *рад* или 10 сек. дуги. Если таким пучком осветить Луну, размеры пятна будут около 20 *км*. Заметим, что угловые размеры пучка могут быть сделаны значительно меньше, если лазер сочетать с некоторой оптической системой типа телескопа.

Пусть мы имеем высококачественную линзу, диаметр которой равен d, причем фокусное расстояние также равно d. Если такую линзу поместить в пучок света, излучаемый лазером, то в ее фокальной плоскости действительное изображение пучка будет иметь размеры λ. Пусть это изображение совпадает с фокусом другой линзы (или зеркала) значительно большего диаметра A, причем фокус-

ное расстояние большой линзы больше или равно A. В таком случае, как легко убедиться, пучок, выходящий из большого зеркала, будет иметь угол расхождения, равный $\frac{\lambda}{A}$. Хотя такие системы еще не изготовлены, в принципе это вполне возможно. Трудности здесь будут хотя и серьезные, но чисто технического характера. Например, необходимо будет разработать системы автоматического контроля и коррекции поверхности большого зеркала, компенсирующие деформации из-за нагревания его поверхности мощным пучком излучения.

Кроме исключительно высокой направленности, другим важным преимуществом пучка излучения, генерируемого лазером, является высокая монохроматичность. Так, например, у современных лазеров, работающих в непрерывном режиме, ширина полосы частот бывает до 10 *кгц*, что в десятки миллиардов раз меньше частоты излучения. Как мы увидим ниже, высокая степень монохроматичности пучка — весьма ценное качество для межзвездной связи.

В настоящее время усовершенствованию лазеров уделяется огромное внимание. Так, в США над этой проблемой работают тысячи фирм. Расходы на исследования в данной области достигают многих сотен миллионов долларов в год. Интерес к этой проблематике не случаен. Осуществление лазеров большой мощности будет означать появление нового типа оружия совершенно исключительной разрушающей способности. По существу, это будет знаменитый «тепловой луч» уэллсовских марсиан или, еще точнее, «гиперболоид инженера Гарина», созданный лет 50 назад фантазией Алексея Толстого. Лазеры большой мощности, вероятно, можно будет использовать как эффективное противоракетное оружие.

Нужно, однако, надеяться, что колоссальные потенциальные возможности лазеров будут использоваться только в мирных целях. Развитие этой новой техники может оказать решающее влияние на ряд областей деятельности человечества, в частности на космическую связь.

Первыми, кто обратил серьезное внимание на возможность применения лазеров для космической связи, были американские ученые Таунс (один из основоположников квантовой электроники, лауреат Нобелевской премии) и Шварц. Их работа появилась в одном из апрельских номеров журнала «Нейчур» за 1961 г. В качестве основной аппаратуры они рассматривают две системы лазеров, которые пока еще не разработаны, но в принципе могут быть изготовлены в ближайшие годы.

Система «а» характеризуется мощностью 10 *квт* в непрерывном режиме излучения, имеет длину волны света около 0,5 *мк*, ширину полосы частот в пучке около 1 *Мгц*, диаметр дополнительного большого зеркала 500 *см* (это диаметр самого большого из существующих телескопов-рефлекторов) и соответствующий этому зеркалу угол раствора пучка $\varphi=10^{-7}$ *рад* или 0,02 сек. дуги.

Система «б» представляет собой «батарею» из 25 таких же лазеров, как и в системе «а», но для каждого из них $A=10$ *см*, и, следова-

тельно, угол раствора пучка равен 1″. С такой точностью вся батарея лазеров может быть ориентирована в одном направлении.

Следует заметить, что если система «а» будет установлена на поверхности Земли, то из-за неспокойствия атмосферы угол раствора пучка будет значительно больше теоретически ожидаемого, достигая 1″ или даже больше. Поэтому такую систему целесообразно поместить на искусственном спутнике за пределами атмосферы. Что касается системы «б», то она может работать с поверхности планеты без существенных искажений.

Таунс и Шварц формулируют два естественных условия обнаружимости сигналов, посланных с других миров с помощью лазеров. Первое условие: пучок должен быть достаточно интенсивным, чтобы быть обнаруженным с помощью подходящего телескопа. Второе условие: необходимо, чтобы каким-либо способом можно было отделить сигнал от излучения звезды. В радиодиапазоне второе условие выполняется почти автоматически, но в оптическом отделение сигнала от излучения звезды, как мы увидим ниже,— довольно сложная проблема.

Предположим, что сигнал посылается системой «а», вынесенной за пределы атмосферы планеты. Пусть расстояние R от планеты до Земли 10 световых лет, или 10^{19} *см*. Тогда поток излучения у Земли будет $F=W/R^2\Omega$ *вт/см²*, где $W=10$ *квт* — мощность передатчика, $\Omega=10^{-14}$ — телесный угол пучка. Следовательно, $F=10^{-20}$ *вт*, в то время как поток от Солнца равен 0,14 *вт/см²*. Зная отношение потоков излучения лазера и Солнца, легко можно вычислить звездную величину лазера, наблюдаемого с Земли. Для этого воспользуемся известной формулой астрономии, которая представляет собой определение понятия «звездная величина»:

$$m_1-m_2=2{,}5\ \lg\frac{F_2}{F_1}.$$

Видимая звездная величина Солнца $m_2=-26{,}8$, откуда звездная величина лазера $m_1=+21{,}2$. Это означает, что с расстояния 10 световых лет такой лазер будет наблюдаться как одна из самых слабых звезд, едва доступная для больших телескопов *). Поэтому для обеспечения надежной связи мощность передатчика должна быть повышена в несколько десятков раз по сравнению с принятой Таунсом и Шварцем.

Что касается системы «б», то поток от нее получается в 100 раз меньшим, чем от системы «а». Поэтому, вопреки утверждению Таунса и Шварца, для межзвездной связи она непригодна.

Теперь мы обсудим вопрос о возможности отделения сигнала лазера от излучения звезды, около которой он находится. Единственный способ такого отделения состоит в использовании свойства высокой монохроматичности излучения лазеров. Пусть эта звезда из-

---

*) В расчетах Таунса и Шварца в этом пункте содержится ошибка. Поток излучения от лазера у них получился в 10 раз больше, чем у нас.

лучает вблизи волны 0,5 *мк* так же, как и наше Солнце (заметим, что вблизи этой волны находится максимум в распределении солнечного излучения по спектру). Тогда интенсивность излучения, рассчитанная на единичный интервал частоты и единичный телесный угол, будет равна $4 \cdot 10^{10}$ *вт/гц·стер*, в то время как у лазера интенсивность (равная потоку излучения, деленному на телесный угол пучка) будет

$$\frac{10^4}{10^{-14} \cdot 10^6} = 10^{12} \text{ вт/гц·стер}.$$

Мы учли то обстоятельство, что у лазера все излучение сосредоточено в очень узкой полосе частот в 1 *Мгц*. Таким образом, «спектральная интенсивность» у такого лазера в 25 раз больше, чем у Солнца. Если бы этот лазер работал в ультрафиолетовой или инфракрасной областях спектра, его спектральная интенсивность еще больше превосходила бы солнечную. Дело в том, что в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектральная интенсивность Солнца значительно меньше, чем в зеленой области около длины волны 0,5 *мк*. Так, спектральная интенсивность для волн, больших 1,5 *мк* и меньших 0,25 *мк*, по крайней мере в 10 раз меньше, чем для 0,5 *мк*, а для волн, больших 4 *мк* или меньших 0,2 *мк*,— в сотни раз. Кроме того, нужно иметь в виду, что в солнечном спектре имеется много линий поглощения. В области этих линий (ширины которых значительно превосходят полосу частот лазера) спектральная интенсивность Солнца падает в десятки раз.

Перечисленные обстоятельства открывают возможности в сотни и даже тысячи раз увеличить «контрастность» спектральных интенсивностей лазера и Солнца. Если лазер вынесен за пределы земной атмосферы (которая полностью поглощает ультрафиолетовое излучение с длиной волны, меньшей 0,29 *мк*, и существенную часть инфракрасного излучения), то в принципе, работая в области $\lambda = 0{,}15$ *мк* «на дне» линии поглощения, можно получить для лазера спектральную интенсивность, в десятки тысяч раз большую, чем у Солнца. Следует, однако, иметь в виду, что при этом могут встретиться большие технические трудности как при изготовлении лазера в указанной спектральной области, так и вследствие резкого уменьшения отражательной способности зеркал в ультрафиолетовых лучах. Если лазер будет работать в инфракрасной области спектра, это повлечет за собой другую неприятность: пучок станет более расходящимся, так как длина волны будет больше. В общем создается впечатление, что выгоднее всего лазеру работать в видимом диапазоне частот «на дне» какой-нибудь сильной линии поглощения в спектре Солнца, например известных линий «H» и «K», принадлежащих ионизованному кальцию. В этом случае спектральная интенсивность лазера в узкой полосе частот шириной в 1 *Мгц* будет в 300 раз больше, чем у Солнца.

Если теперь наблюдать звезду с достаточно узкополосным светофильтром, излучение лазера может быть обнаружено на фоне

излучения звезды. То же самое можно сформулировать иначе: если будет получен очень хороший спектр звезды, в нем может быть обнаружена весьма узкая линия излучения, принадлежащая лазеру. Однако практически трудно изготовить очень узкополосные хорошие фильтры. Точно так же разрешающая способность спектрографов ограниченна.

Какая же должна быть у спектрографа разрешающая способность, чтобы в спектре звезды обнаружить линию излучения от лазера? Такая линия вполне может быть обнаружена, если ее интенсивность хотя бы на 10% превышает интенсивность непрерывного спектра. Существенно, однако, что интенсивность линий сильно «размазывается» разрешающей способностью спектрографа. Если, например, последняя составляет 1 Å, или, в единицах частоты, 10^{11} *гц*, то усредненная по этому интервалу частот интенсивность очень узкой линии лазера будет уже в 300 раз меньше интенсивности соседних участков спектра звезды. Отсюда следует, что для получения 10% контраста линии лазера над фоном разрешающая способность спектрографа должна быть 0,03 Å. Это очень высокая разрешающая способность. Но применение хороших спектрографов в сочетании с интерференционными приборами, по-видимому, позволило бы обнаружить в спектрах близких звезд слабую линию излучения искусственного происхождения. Такие наблюдения, конечно, следовало бы проводить на самых сильных телескопах. Если же мощность передатчика увеличить в несколько десятков раз (см. выше), то обнаружение такой линии не будет слишком трудной задачей даже для телескопов умеренных размеров в сочетании с хорошими спектрографами.

При таких наблюдениях может, однако, возникнуть еще одна трудность. Из-за непрерывного изменения скорости передатчика по лучу зрения, обусловленного эффектом Доплера, частота сигнала будет непрерывно меняться. Для обнаружения сигнала, очевидно, нужно, чтобы за время фотографирования спектра звезд (скажем, час) частота сигнала не вышла бы за пределы полосы частот, определяемой разрешающей способностью спектрографа. Быстрее всего доплеровское смещение сигнала меняется из-за суточного вращения планеты, так как в этом случае период колебаний лучевых скоростей сравнительно невелик. Все же простой расчет показывает, что за время порядка 1 часа полоса частот лазера не уйдет за пределы, определяемые разрешающей способностью спектрографа.

Таким образом, мы убедились, что лазеры при условии их дальнейшего усовершенствования вполне могут быть пригодны для межзвездной связи. При мощности лазера 10 *квт* осуществление такой связи оказывается на пределе возможностей современной техники. Имеются, однако, серьезные основания полагать, что в перспективе ближайших нескольких десятилетий мощность лазеров вырастет в огромной степени. Например, применение лазеров для военных нужд может потребовать увеличения их мощности до миллионов киловатт и даже больше.

Как же можно распознать линию искусственного происхождения в спектре какой-нибудь звезды? Во-первых, эта линия излучения должна быть чрезвычайно узкой; во-вторых, ее, по-видимому, нельзя будет отождествить с какой-либо из известных спектральных линий, и, наконец, интенсивность этой линии может регулярно меняться во времени. В этом случае информация может передаваться так же, как при пользовании «световым телеграфом». Коль скоро будет обнаружено присутствие линии излучения искусственного происхождения в спектре звезды, дальнейшее ее изучение можно будет проводить детально посредством специально для этого разработанной аппаратуры. При этом широкое применение может получить фотоэлектрический метод наблюдения, который позволяет свести «время накопления» сигнала (аналогичное «времени экспозиции» при фотографических наблюдениях) до нескольких минут и даже меньше. Это весьма желательно для расшифровки модулированного светового сигнала.

Все наши расчеты условий обнаружений оптических сигналов, посланных с других планетных систем при помощи лазеров, предполагают, что инопланетная цивилизация посылает очень узкий пучок света на Землю. Точность посылки сигнала должна быть очень высокой. Угол 10^{-7} *рад*, или 0,02 сек. дуги (а это угловая ширина пучка),— величина очень маленькая. Именно с такой точностью должно выдерживаться направление посылки сигнала. Эта точность находится на пределе возможностей современной астрономии. Если смотреть с ближайших звезд, угловой диаметр земной орбиты будет около 1 сек. дуги. Так как расстояние между Землей и Солнцем разумным инопланетным существам заранее не известно, они должны своим лучом «шарить» в пределах Солнечной системы, регулярно меняя его направление в пределах нескольких секунд дуги. Ведь диаметр пучка света в пределах Солнечной системы «всего лишь» около 10 млн. *км*, что в 15 раз меньше расстояния от Земли до Солнца. По этой причине Земля будет только изредка, более или менее случайно, освещаться инопланетным лазером. Это, конечно, в высшей степени осложняет возможность его обнаружения земными наблюдателями. Последнее, на наш взгляд весьма важное, соображение Таунс и Шварц совершенно не учитывали. Между тем оно существенно снижает эффективность лазеров как средства межзвездной связи. Чтобы обойти эту трудность, нужно допустить, что диаметр пучка в пределах Солнечной системы в несколько раз больше расстояния между Солнцем и Землей. Тогда значительная часть Солнечной системы была бы «покрыта» одним пучком света. Но в таком случае при всех предположениях о расстоянии до облучающего нас лазера его мощность должна быть в несколько тысяч раз больше принятой нами.

Разумеется, это обстоятельство не может рассматриваться как решающий аргумент против возможности использования лазеров для межзвездной связи, так как мощность последних, как уже говорилось, может быть существенно большей, чем мы принимаем. Все

же бесспорен тот факт, что осуществление связи между инопланетными цивилизациями с помощью радиоволн (например, на волне 21 *см*) значительно экономичнее, чем при помощи лазеров. Но мы не можем знать, являются ли наши критерии «экономичности» столь важными для этих цивилизаций. И никогда не следует забывать при этом, что мы судим о технических и экономических возможностях межзвездной связи исходя из современных условий. Но ведь в будущем условия могут сильно измениться и то, что сегодня кажется малоперспективным, приобретет решающее значение.

В заключение этой главы мы остановимся на перспективах связи при помощи лазеров в пределах Солнечной системы. Если пучок света от системы «а» направить на Марс в эпоху его противостояния, когда расстояние до этой планеты сокращается до 50 млн. *км*, на его поверхности образуется освещенное пятно диаметром 5 — 7 *км*. Из области этого пятна вспышка света от лазера будет видна как исключительно яркая звезда — 7-й величины, т. е. примерно в 10 раз ярче, чем Венера на небосклоне Земли. Совершенно очевидно, что такой ярчайший источник можно как угодно модулировать и передавать таким образом с Земли на малую область Марса любую информацию. Такой же пучок, направленный на неосвещенную сторону Луны, даст пятно диаметром в 40 *м*, причем освещенность там будет всего лишь в 100 раз меньше, чем от прямых солнечных лучей. Из приведенных примеров следует, что перспективы связи на лазерах в пределах Солнечной системы очень благоприятны *).

---

*) В США и СССР уже давно проводятся удачные опыты по освещению Луны лазером.

21

Связь с инопланетными цивилизациями с помощью автоматических зондов

При обсуждении возможности связи с инопланетными цивилизациями с помощью электромагнитных волн радио- и оптического диапазонов очень большое значение имеет вопрос о расстояниях до ближайших таких цивилизаций. Он важен не только для правильной оценки мощности передатчиков, необходимых для осуществления межзвездной связи. Чтобы яснее стали трудности, возникающие при попытках осуществления такой связи, мы рассмотрим два случая.

I. Среднее расстояние до ближайших инопланетных цивилизаций около 10 световых лет. Именно этот случай, по существу, рассматривался в проектах Коккони — Моррисона и Таунса — Шварца, которые мы подробно обсуждали в предыдущих главах.

II. Среднее расстояние до ближайших инопланетных цивилизаций превосходит 100 световых лет.

Между этими двумя случаями имеется принципиальная разница. В случае I число подходящих звезд, около которых можно ожидать разумной жизни, всего лишь три. Это ε Эридана, τ Кита и ε Индейца. В случае II число подходящих звезд может быть несколько тысяч. Если в случае I сравнительно легко установить, посылают ли звезды в направлении Солнца искусственные радио- или оптические сигналы, то в случае II задача становится в высшей степени затруднительной, а главное — неопределенной. Ведь в течение очень длительного времени нужно непрерывно, и притом очень тщательно, следить за многими тысячами, если не десятками тысяч звезд. По существу, должна быть организована непрерывно работающая грандиозных масштабов «служба неба». При этом необходимо еще считаться с возможностью, что весьма удаленные от нас разумные инопланетные существа по каким-либо причинам не посылают радио- или оптические импульсы в сторону Солнца. Они, например, могут исключить наше Солнце из числа звезд, вокруг которых возможна разумная жизнь. Ведь для них Солнце — только одна из многих тысяч или

десятков тысяч звезд, более или менее подходящих для поддержания жизни...

Обнаружение искусственных сигналов от одной из таких звезд — весьма трудное дело. Но несоизмеримо труднее в течение многих столетий и даже тысячелетий непрерывно и с большой точностью держать в пучке электромагнитных волн десятки тысяч звезд и терпеливо, скорее всего тщетно, дожидаться ответа от одной из них...

Между тем имеются серьезные основания полагать, что общества разумных существ в Галактике разделены расстояниями, значительно превышающими 10 световых лет. Это означает, что скорее всего реализуется случай II.

В самом деле, допустим даже, что на каждой из нескольких миллиардов потенциально подходящих для развития жизни планет в нашей Галактике должна на каком-то этапе эволюции возникнуть разумная жизнь (что, вообще говоря, необязательно). Но для проблемы межзвездной радиосвязи основное значение имеет вопрос о существовании разумной жизни в *эпоху, когда посылаются* сигналы. Другими словами, существенное значение имеет расстояние до инопланетных цивилизаций, *современных нашей*.

Если бы разумная жизнь, однажды возникнув на какой-нибудь планете, существовала там миллиарды лет, т. е. примерно столько же, сколько находится на главной последовательности «питающая» эту цивилизацию звезда, то при сделанном предположении количество разумных цивилизаций в Галактике было бы также порядка миллиарда. Положение радикально изменится, если мы учтем, что длительность разумной жизни на планетах может быть существенно меньше времени эволюции звезд.

На это обстоятельство одновременно обратили внимание в 1960 г. австралийский радиоастроном Брэйсуэлл и автор этой книги. Здесь мы не будем обсуждать сколько-нибудь подробно вопрос о времени существования разумной жизни на планетах. Это будет сделано в гл. 22 и 23. Для нас пока достаточно, что возможная сравнительно небольшая длительность «технологической эры» (мы имеем в виду эру технически развитой цивилизации) на планетах может существенно уменьшить число цивилизаций, *одновременно* существующих в Галактике, и соответственно увеличить расстояния до ближайших из них.

На рис. 51 приведены построенные Брэйсуэллом графики, поясняющие сказанное. При построении этих графиков сделано предположение, что на *каждой* из нескольких миллиардов галактических планетных систем на некотором этапе их развития возникла разумная жизнь. Последняя, прогрессируя, достигает высокого уровня научного и технического развития и по истечении некоторого промежутка времени угасает. Например, если длительность «технологической эры» равна 10 тыс. лет, расстояние до ближайшей цивилизации будет около 1 тыс. световых лет, причем на этом расстоянии будет находиться около 50 тыс. звезд. Можно представить, как трудно в этом случае осуществить связь с помощью электромагнит-

ных волн между ближайшими цивилизациями. Ведь заранее совершенно не известно, около какой из 50 тыс. звезд может существовать разумная жизнь. Безотносительно к вопросу о возможной ограниченности «технологических эр», графики Брэйсуэлла позволяют быстро оценить расстояния до ближайших цивилизаций в зависимости от их полного количества в Галактике, а также число одновременно существующих в Галактике цивилизаций.

Итак, если расстояния до ближайших цивилизаций превышают 100 световых лет, то будет в высшей степени затруднительным установить связь с помощью электромагнитных волн с разумными существами около одной из многих тысяч, если не десятков тысяч, ничем не отличающихся друг от друга звезд. При такой ситуации Брэйсуэлл предлагает другой путь установления связи, который он считает значительно более практичным, а потому и перспективным. В случае инопланетных технологически развитых цивилизаций следует ожидать исключительного прогресса ракетной техники, неизбежно связанной с выходом каждой из таких цивилизаций за пределы своей планеты, в космическое пространство. Через довольно короткий промежуток времени цивилизация сможет посылать сравнительно небольшие автоматические ракеты-зонды в сторону ближайших звезд. Высокая техника автоматического управления сделает возможным «посадку» такого зонда на почти круговую орбиту вокруг заранее намеченной звезды. Техника такой «посадки» разработана уже сейчас.

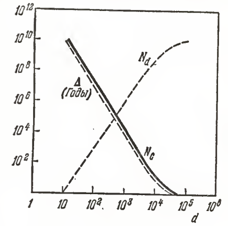


Рис. 51. Графики Брэйсуэлла.

По оси абсцисс откладывается средиее расстояиие между инопланетными цивилизациями d в световых годах, по оси ординат отложены величины: N_c — число одновремеино существующих в Галактике цивилизаций, N_d — число звезд на расстоянии d от данной звезды, около которой имеется цивилизация, Δ — средняя продолжительность технологической эры.

Следовательно, вполне можно представить, что в будущем, может быть и не таком уже далеком, автоматические ракеты-зонды полетят к ближайшим звездам и там на заранее определенном расстоянии станут их искусственными спутниками. Высокоорганизованная и технически развитая цивилизация сможет таким способом «навязать» своих искусственных спутников нескольким тысячам ближайших к ней звезд. Скорость движения таких автоматических ракет-зондов может достигать 100—200 тыс. *км/сек*. Такая скорость достаточно велика. В то же время осложняющие полет эффекты теории относительности, возникающие при скоростях, довольно

близких к скорости света, будут не существенны. Следовательно, потребуется всего лишь несколько столетий, чтобы вокруг всех звезд на расстоянии 100 световых лет от данной цивилизации, подозреваемых как возможные очаги разумной жизни, стали обращаться искусственные спутники.

Такие зонды, конечно, должны обладать надежной защитой от разрушающей их поверхность метеорной бомбардировки и иметь достаточно мощную и долгоживущую приемную и передающую радиоаппаратуру, питаемую либо энергией звезды, спутником которой они стали, либо источником ядерной энергии на борту. Если вокруг этой звезды имеются планеты, населенные разумными существами, радиопередачи от такого зонда должны быть обнаружены.

Преимущества связи этого типа очевидны. Во-первых, радиосигнал, посылаемый зондом за счет энергии звезды, спутником которой он стал, будет гораздо более мощным, чем в случае, когда он прямо посылается с планеты, ищущей разумных соседей по космосу. Ведь сигнал от зонда до предполагаемых разумных существ пройдет расстояние, в миллионы раз меньшее, чем если бы он прямо посылался с планеты. В проекте Брэйсуэлла не предполагается, что инопланетные разумные существа ведут длительную и непрерывную «службу неба» в поисках (возможно, тщетных) радиосигналов от «подходящих» звезд. Это, конечно, большое достоинство «метода зондов». Наконец, этот метод установления связи не зависит от конкретного выбора длины волны (например, 21 *см*), что также составляет известное преимущество.

Выведенный на орбиту вокруг исследуемой звезды автоматический зонд может работать, например, по следующей программе. Прежде всего, зонд начнет исследовать, имеются ли в пространстве, где он летает, монохроматические радиосигналы. Такой автоматический «поиск» может происходить в широком диапазоне частот. Если сигналы будут обнаружены, зонд сможет тотчас же отправлять их без изменений обратно. Коль скоро данная процедура будет повторяться много раз, это несомненно привлечет внимание инопланетных разумных существ. В результате будет достигнута первая, очень важная цель: инопланетные разумные существа узнают о присутствии в их системе вестника далекой цивилизации.

По этой причине Брэйсуэлл считает важным тщательное изучение всех радиосигналов космического происхождения. Ведь нельзя исключить возможность того, что такие зонды уже давно летают в нашей Солнечной системе... Они могут быть посланцами одной или нескольких ближайших к нам инопланетных цивилизаций. В этой связи Брэйсуэлл обращает внимание на некоторые давно известные, но до сих пор не нашедшие разумного объяснения явления. Так, например, свыше 40 лет назад Штермер и ван дер Поль обнаружили несколько случаев «радиоэхо», причем время запаздывания отраженного сигнала достигало нескольких секунд и даже минут. Это может означать, что сигнал отражался от некоторого объекта, удаленного от Земли на расстояние свыше 1 млн. *км*. Не является

ли причиной таких странных отражений радиосигналов какой-нибудь «кибернетический гость» из далеких миров? С другой стороны, то, что космические радиосигналы даже большой мощности можно «прозевать», доказывает пример радиоизлучения Юпитера на частотах в десятки мегагерц. За последние несколько десятилетий его много раз обнаруживали, но не придавали этому значения. Хотя мощность излучения Юпитера здесь достигает 1000 *вт/гц*, оно не было отождествлено до 1954 г.

После того как зонд установит двустороннюю связь с инопланетными разумными существами, он может начать по заранее разработанной программе передачу достаточно сложной информации. В этом отношении большие возможности открывает использование телевидения. Например, зонд может передать на планету телевизионное изображение созвездия, выделив в нем каким-нибудь способом ту звезду, откуда он прилетел. Для этого посылающие зонд разумные существа должны, конечно, заранее знать, как выглядит их звезда на небосклоне другого мира. Заметим, что эта задача очень простая. В дальнейшем будет передаваться и более сложная информация.

С другой стороны, коль скоро аборигены другого мира узнали о присутствии разумных существ около совершенно определенной звезды, последняя станет предметом особенно тщательных исследований. В сторону этой звезды будут отправлены мощные модулированные оптические и радиопучки, а также автоматические зонды. Таким образом, можно рассчитывать, что в течение нескольких столетий между двумя цивилизациями, разделенными десятками световых лет, установится оживленная двусторонняя связь.

В принципе объем информации, заложенной в зонде, может быть настолько велик, что даже простая односторонняя связь будет очень ценной. Наконец, можно представить себе систему ретрансляции искусственных сигналов, обнаруженных каким-либо из посланных зондов, через «промежуточные станции» обратно на «материнскую планету». В качестве «промежуточных станций» могут быть использованы межзвездные ракеты, систематически посылаемые в космос по специальной программе.

Можно полагать, что методом зондов исследуются только относительно близкие друг к другу цивилизации. Разумно далее предположить, что исследование Вселенной высокоразвитыми цивилизациями происходит планомерно, без нежелательного «дублирования». В конечном итоге можно постулировать существование Великого Кольца разумных цивилизаций в масштабе Галактики, так красочно описанного в научно-фантастическом романе И. А. Ефремова «Туманность Андромеды»...

Если, согласно Брэйсуэллу, тщательные поиски в течение ряда лет не приведут к обнаружению в пределах нашей Солнечной системы источника искусственных радиосигналов, можно будет сделать «малоутешительный» вывод: ближайшая к нам технологически развитая цивилизация находится настолько далеко, что не в состоянии установить с нами какой-либо контакт.

Этот вывод станет, может быть, более наглядным, если мы обратимся к рис. 51. Если, например, полное число разумных цивилизаций в Галактике $N_c=10^7$, то средняя «продолжительность жизни» каждой из цивилизаций $\Delta\sim10^7$ лет, в то время как среднее расстояние между цивилизациями будет около 100 световых лет. Можно полагать, что за 5 млн. лет своего существования достигшая высокого уровня технического развития цивилизация сможет исследовать несколько тысяч соседних звезд, среди которых по крайней мере одна должна быть населена разумными существами.

Положение, согласно Брэйсуэллу, станет совершенно другим, если $N_c=10^3$. Тогда $N_d=10^7$, $d=2000$ световых лет, а $\Delta\sim1000$ лет. Ясно, что за 1000 лет эры технического развития цивилизация не сможет установить контакты со своими разумными соседями, удаленными от нее по крайней мере на расстояние 2000 световых лет. Впрочем, и в этом, самом неблагоприятном, случае Брэйсуэлл не исключает возможности установления контактов между отдельными цивилизациями. Может так случиться, что весьма небольшое количество технологически развитых цивилизаций (из числа постоянно возникающих в нашей звездной системе) найдет способ победить причины, приводящие к их быстрой гибели. И тогда они, гармонически развиваясь длительное время, достигнут исключительно высокого уровня технического развития. Более подробно об этом будет говориться в гл. 24.

Даже весьма отдаленные области Галактики могут быть предметом непосредственного исследования таких «сверхцивилизаций». Сейчас мы, конечно, ничего не можем сказать о методах этих исследований — слишком отличны должны быть уровни технического развития этих гипотетических цивилизаций от нашего уровня. Вполне может быть, что такие «эмбриональные» цивилизации, какой им кажется наша, не будут представлять для них интереса. Для них может и не быть нужды исследовать все такие примитивные цивилизации, подобно мотылькам рождающиеся и гибнущие где-нибудь в Галактике ежегодно в среднем два раза...

С точкой зрения Брэйсуэлла мы не можем, однако, согласиться. Неявно Брэйсуэлл имеет в виду неизбежное самоуничтожение практически каждой цивилизации после открытия ею ядерной энергии. Это, конечно, не новая точка зрения. Современная западная литература, а также искусство изобилуют красочными описаниями гибели цивилизации в огне атомного пожара. Конечно, пока существует на Земле капитализм, такой печальный конец разумной жизни на нашей планете вероятен. Но он не является фатально неизбежным. Силы мира во всем мире сейчас достаточно велики. Это дает основания полагать, что современный кризис будет преодолен и будущему обществу действительно разумных существ, построенному на основе коммунизма, атомная катастрофа угрожать не будет.

22

Теоретико-вероятностный анализ межзвездной радиосвязи. Характер сигналов

Мы сейчас остановимся на математическом анализе проблемы связи между инопланетными цивилизациями, выполненном немецким астрономом фон Хорнером. Анализ этот во многих отношениях является спорным. Однако он безусловно представляет методический интерес и хорошо иллюстрирует возможности и ограничения подобных исследований. Весь анализ фон Хорнера носит исключительно теоретико-вероятностный характер. Впрочем, необходимо уточнить, что мы понимаем под словом «вероятность» в нашем случае. Ведь на основании только одной-единственной известной нам цивилизации делать какие-либо вероятностные оценки затруднительно. Надежность таких оценок весьма неопределенна. Тем не менее какие-то оценки, хотя бы самые ориентировочные, производить необходимо. Такие вероятностные оценки на Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям получили название «субъективная вероятность». Последнее понятие вполне подобно практикующейся в США оценке распределения субсидий на научные исследования по степени их важности. Хотя эти оценки носят «личный» характер и весьма субъективны, их нельзя считать произвольными, так как они делаются весьма компетентными специалистами.

В частном разговоре с автором этой книги известный американский астроном проф. Голд дал следующее шутливое пояснение понятию «субъективная вероятность». В средние века богословский факультет Парижского университета распространил среди ведущих мыслителей тогдашней Европы анкету (мы пользуемся современным термином) со следующим, не совсем обычным вопросом: каков рост китайского императора? В те далекие времена представления о Китае были самые фантастические и ведущие умы Европы не имели решительно никакого представления о росте китайского императора... Поэтому ответы на анкету были самыми разнообразными. Но в среднем ответ получился более или менее правильным... Добавим к этому, что средневековые схоласты не сомневались, что в Китае есть император, между тем как подобного категорического утверждения в отношении внеземных цивилизаций мы сделать пока не можем...

Прежде всего, рассматривается вопрос о вероятных расстояниях между цивилизациями различных планетных систем. Обозначим через ν_0 долю всех звезд, вокруг которых имеются планеты, где могла развиваться разумная жизнь. Пусть далее T_0 — время, прошедшее от образования данной планетной системы до появления на ней технически развитой цивилизации, l — время существования технически развитой цивилизации, T — возраст наиболее старых звезд, а ν — доля звезд, вокруг которых в настоящее время имеются технически развитые цивилизации. Считая, что скорость процесса звездообразования оставалась постоянной в течение времени T, получим

$$\nu = \frac{\nu_0 (T - T_0)}{T}, \quad \text{если} \quad l \geqslant T - T_0,$$

$$\nu = \nu_0 \frac{l}{T}, \quad \text{если} \quad l \leqslant T - T_0.$$

Пусть d_0 — среднее расстояние между соседними звездами. Тогда среднее расстояние между соседними технически развитыми цивилизациями будет

$$d = d_0 \nu^{-1/3}.$$

Основную величину l фон Хорнер определяет, исходя из довольно произвольных предпосылок. Он рассматривает следующие пять причин, по его мнению могущих ограничить длительность существования технически развитой стадии цивилизации:

1) полное уничтожение всякой жизни на планете;
2) уничтожение только высокоорганизованных существ;
3) физическое или духовное вырождение и вымирание;
4) потеря интереса к науке и технике;
5) T неограниченно велико.

Последнюю возможность фон Хорнер считает совершенно невероятной. Далее, он считает, что во втором и третьем случаях на той же самой планете может развиться еще одна цивилизация на основе (или на обломках) старой, причем время такого «возобновления» мало по сравнению с T_0. Обозначим через l_1, l_2, l_3, l_4 и l_5 средние времена жизни, соответствующие перечисленным пяти гипотезам, а через p_1, p_2, p_3, p_4 и p_5 — «вероятности реализации» этих гипотез. Тогда будем иметь

$$\nu = \frac{\nu_0}{T} [p_1 l_1 + p_2 l_2 + p_3 l_3 + p_4 l_4 + p_5 (T - T_0)] \frac{1}{1 - (p_2 + p_3)},$$

где множитель $Q = \frac{1}{1 - (p_2 + p_3)}$ учитывает возможность «возобновления» цивилизации. Так как $l = p_1 l_1 + p_2 l_2 + p_3 l_3 + p_4 l_4 + p_5 (T - T_0)$ — средняя длительность технически развитой стадии цивилизации, то можно написать

$$\nu = Q \frac{l \nu_0}{T}.$$

Интересен вопрос о вероятном возрасте первой же инопланетной цивилизации, с которой мы можем столкнуться. Простые расчеты, которые мы здесь приводить не будем, дают

$$t = \frac{p_1 l_1^2 + p_2 l_2^2 + p_2 l_3^2 + p_4 l_4^2 + p_5 l_5^2}{2l}.$$

Для вероятности того, что перед данной цивилизацией на данной планете имелись еще другие цивилизации, получим

$$p_2 = \frac{Q-1}{Q}.$$

Чтобы от этих общих формул перейти к конкретным количественным оценкам, необходимо задать значения величин l_i и p_i. Оценки фон Хорнера, конечно, крайне субъективны. Однако, так как l в выражение для среднего расстояния между инопланетными цивилизациями $d = d_0 \left(\frac{\nu_0 Q l}{T}\right)^{-1/3}$ входит в степени — $1/3$, неопределенность в оценке l не так уж сильно будет влиять на оценку d.

Все же любопытно, как фон Хорнер представляет себе длительность времени жизни технически развитой цивилизации при сформулированных пяти предположениях о характере их конца, а также вероятности этих предположений (табл. 6).

ТАБЛИЦА 6

Гипотеза	Возможный интервал значений l_i, лет	Принятое значение l_i, лет	Вероятность гипотезы p_i	$l_i p_i$, лет
Полное разрушение	0—200	100	0,05	5
Уничтожение высшей жизни	0—50	30	0,60	18
Вырождение	10^4—10^5	$3 \cdot 10^4$	0,15	4500
Потеря интереса	10^3—10^5	10^4	0,20	2000
Отсутствие ограничения	—	—	0,00	0

Сама по себе идея, что время существования технически развитой цивилизации ограниченно, представляется автору этой книги вполне разумной. Однако всякие попытки конкретизации этого обстоятельства и связанные с ними оценки вероятности являются весьма субъективными и поэтому могут привести к нелепым выводам.

При значениях l_i и p_i, приведенных в табл. 6, средняя длительность технологической эры l=6500 лет, а «фактор возобновления» Q=4. Далее, полагая T=10^{10} лет, ν_0=0,06, d_0=2,3 *пс* (среднее расстояние от Солнца до ближайших к нему звезд), найдем, что ν=$2{,}6 \cdot 10^{-7}$. Это означает, что в рамках предположения фон Хорнера только около одной из 3 млн. звезд в настоящее время существует разумная жизнь. Среднее расстояние между инопланетными цивилизациями будет d=360 *пс* или немного больше

1000 световых лет. Наиболее вероятный «технический возраст» цивилизации, с которой впервые будет установлена связь, $t = 12\,000$ лет. Далее, с вероятностью 75% можно будет утверждать, что эта цивилизация является «наследницей» старой цивилизации, до этого бывшей на планете, с которой установлен контакт. Любопытно, что расчеты указывают на очень маленькую вероятность встретить цивилизацию в той же самой фазе развития, что и современная наша земная цивилизация. Эта вероятность оказывается равной всего лишь около 0,5 %. Само собой разумеется, что все числовые оценки, которые были приведены, справедливы постольку, поскольку справедливы исходные значения для l_i и p_i, которые, как подчеркивалось выше, являются произвольными.

Важным выводом из приведенных оценок является бесперспективность попыток обнаружить сигналы от отдельных звезд, подобно тому как это делалось в проекте «ОЗМА» (см. гл. 19). Ведь если до ближайшей цивилизации не меньше 1000 световых лет, то явно бессмысленно среди нескольких миллионов звезд искать ту, которая посылает сигнал точно в направлении на Солнце. Ни одна цивилизация, конечно, не будет посылать «запросов» в направлении Солнца, которое для нее ничем не выделяется среди миллионов других примерно таких же звезд. Более естественно ожидать, что сигналы посылаются по всем направлениям и носят характер «позывных».

Другим, впрочем довольно тривиальным, выводом является то, что цивилизации, которые будут тем или иным способом обнаружены, окажутся много «старше» нашей, а следовательно, они будут технически более развиты. Наконец, значение $d = 1000$ световых лет, естественно, означает, что время ожидания «космического ответа» на «космический запрос» t_0 должно быть свыше 2000 лет! Что и говорить, торопиться при таких «переговорах» вряд ли имеет смысл. Так как длительность технологической эры не так уже велика, то за все время существования цивилизации можно будет провести всего лишь, например, около 10 двусторонних переговоров... Следовательно, обмен информацией в межзвездном масштабе оказывается весьма затрудненным.

Оценки времени существования высокоразвитых цивилизаций, таким образом, имеют кардинальное значение для прогнозирования «межзвездной» связи. Неудивительно поэтому, что на Бюраканском симпозиуме по проблемам внеземных цивилизаций они были предметом оживленной дискуссии. В частности, этому вопросу был посвящен обстоятельный доклад Плятта (США). Естественно, что такие оценки могут быть сделаны только на основе анализа главных тенденций в развитии нашей земной цивилизации. К сожалению, такой анализ неизбежно отличается субъективностью, и, следовательно, результаты его должны приниматься с осторожностью. Последнее обстоятельство мы подчеркивали раньше, при изложении взглядов на этот вопрос фон Хорнера.

Прежде всего, Плятт обращает внимание на «взрывчатый» характер развития нашей цивилизации за последнее столетие. За

этот сравнительно небольшой промежуток времени основные технологические параметры, характеризующие развитие нашей цивилизации, гигантски увеличились. Представление о росте технологического потенциала дает приведенная Пляттом таблица (см. табл. 7). Из этой впечатляющей таблицы видно, что некоторые важные параметры развития нашей цивилизации уже довольно близки к физическим пределам.

ТАБЛИЦА 7

Параметр	Увеличение за 100 лет	Физические пределы
Скорость общения	в 10^7 раз	Скорость света
Скорость передвижения	10^2	Орбитальная скорость
Мощность источников энергии	10^3	Изменение климата
Мощность оружия	10^6	Уничтожение человечества
Скорость анализирования данных	10^6	Скорость света

В табл. 6 уже приводились значения величин t_i и P_i для разных вариантов кризисных ситуаций. Плятт рассматривает ряд таких ситуаций, угрожающих самому существованию человечества. Ожидаемые и возможные катастрофы, грозящие человечеству согласно Плятту, суть:

а) ядерная катастрофа,

б) загрязнение среды и связанные с ней отрицательные изменения в биосфере,

в) экономические катастрофы,

г) неконтролируемый рост народонаселения,

д) истощение естественных ресурсов.

По оценкам, выполненным американским футурологом А. Раппопортом при экстраполяции естественных тенденций в развитии технологических цивилизаций, эти катастрофы должны реализоваться не позже 2030 года. Эта дата и по другим соображениям является критической (см. гл. 24). Следовательно, заключает Плятт, чтобы «выжить», человечеству необходимо научиться анализировать кризисные ситуации и переходить на более высокий уровень оценки действий и регулирования взаимоотношений внутри цивилизации. Плятт, конечно, очень далек от идей коммунистического преобразования общества, которое снимет саму возможность перечисленных выше кризисных ситуаций.

Однако, замечает Плятт, если даже сама возможность перечисленных выше кризисных ситуаций будет устранена, перед высокоразвитыми внеземными цивилизациями может возникнуть проблема потери интереса к общению между цивилизациями. Основные интересы таких цивилизаций могут стать локальными. Плятт метко называет такую ситуацию стратегией «здесь и сейчас». На возможность такой потери интереса указывал еще фон Хорнер.

В зависимости от концепций, которыми руководствуются внеземные цивилизации, Плятт оценивает временные интервалы их существования в весьма широких пределах, от 10^2 до 10^9 лет.

Другой участник Бюраканского симпозиума, видный американский ученый Стент, опасается появления новой тенденции у развивающейся внеземной цивилизации — исчезновения творческого начала, появления нового, благоразумного «золотого века». Он проанализировал две основные тенденции, которыми на протяжении всей истории руководствовалось человечество. Первая тенденция — это достижение власти над природой путем активного познания ее законов, безудержный, ничем не ограниченный технологический прогресс, борьба за существование. Эту тенденцию Стент считает характерной для того, что он называет «западным типом цивилизаций», хотя пример Японии указывает, что это понятие отнюдь не является географическим.

Другая тенденция в развитии цивилизации — это стремление к слиянию с природой и «растворению» в ней. Типичным представителем этой тенденции является буддизм. Стент обращает внимание на то, что в современной Америке имеются представители этой тенденции развития (например, хиппи). В предельном случае такое развитие может привести к установлению некоего «райского уголка» или «золотого века», как это было, по мнению Хента, на островах южных морей до появления там европейцев. Итак, полагает американский ученый, высокоразвитые внеземные цивилизации могут установить у себя некую «внутреннюю Полинезию» с отрицанием необходимости контакта с другими цивилизациями.

Несомненно, что соображения Плятта и Стента заслуживают самого серьезного внимания, хотя бы потому, что они отражают кризис буржуазной идеологии в передовых, высокоразвитых капиталистических странах. Можно и нужно спорить с отдельными конкретными положениями американских ученых. Например, вряд ли на островах южных морей царил некий идеальный «золотой век». Ожесточенные племенные войны и каннибализм, по нашему мнению, никак не являются атрибутами идеального и гармоничного «земного рая», столь красочно обрисованного американским профессором. Точно так же полинезийцев никак нельзя упрекнуть в недостатке предприимчивости и пытливости. Стоит вспомнить, хотя бы, их замечательные плавания на утлых пирогах через огромные, очень страшные, просторы Тихого океана, колонизацию и освоение новых островов. А ведь по тем временам эти подвиги и связанные с ними трудности были вполне эквивалентны нашим современным проблемам, связанным с освоением космоса. И не так уже «замкнуты на себя» были великие азиатские цивилизации, исповедовавшие буддизм.

Но не будем придирчивы — зерно истины в концепциях Плятта, Стента, а также фон Хорнера, конечно, есть. И есть вполне реальная возможность потери интереса к контактам у тех или иных внеземных цивилизаций. Ну, и что же? Ведь не все цивилизации обяза-

ны идти по такому пути. Ни Плятт, ни Стент никогда не утверждали, что потеря интереса — закономерный итог развития цивилизаций. А фон Хорнер, правда, достаточно произвольно оценивает вероятность такой ситуации в 20% (см. табл. 6). Смешно определять количество высокоразвитых, способных к контактам внеземных цивилизаций в Галактике с точностью в 20 или 50 процентов... Ведь другие факторы, определяющие это количество (например, вероятность возникновения жизни), известны с несравненно меньшей точностью! Таким образом, следует признать, что хотя соображения Стента и Плятта любопытны, они практически никакого отношения к проблеме установления контактов с внеземными цивилизациями не имеют.

Ситуация с оценкой количества цивилизаций в Галактике может коренным образом измениться, если учесть то, что фон Хорнер называет «эффектом обратной связи». Качественно этот эффект (на который обратил внимание также Брэйсуэлл — см. выше) состоит в следующем. Если «время ожидания» t_0 значительно больше времени жизни технически развитой цивилизации l, ответы на запросы никогда не будут получены и интерес к поискам космических разумных соседей будет рано или поздно потерян. Но если t_0 значительно меньше l, то вполне возможен весьма плодотворный и эффективный обмен информацией. При такой ситуации отдельные цивилизации, разбросанные в пространстве Галактики, будут помогать друг другу, что безусловно повлечет за собой увеличение (и, может быть, даже значительное) величины l. Такую ситуацию «Великого Кольца» фон Хорнер и называет «эффектом обратной связи». Мы, однако, полагаем, что, даже если $t_0 > l$ и переговоры носят «односторонний» характер, «эффект обратной связи» может (и должен) иметь место, так как «бескорыстная» посылка информации в космос, будучи случайно «перехваченной», может существенно помочь уловившей сигналы цивилизации в преодолении трудностей, стоящих на пути ее развития, и тем самым может удлинить l.

Для проблемы «обратной связи» (в смысле фон Хорнера, т. е. при $t_0 > l$) большое значение имеет величина $K = \frac{L}{t'_0}$, где L — среднее время жизни наиболее часто встречающейся цивилизации, $t'_0 = \frac{2d}{c}$ (c — скорость света).

Принимая наиболее вероятные значения l и d по данным табл. 6, можно найти, что $K=10$. В общем виде величину K можно записать так:

$$K = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{4/3},$$

где $L_0 = (8\ d_0 T/c^3 \nu_0 Q)^{1/4}$. Если положить $d_0 = 2{,}3$ *пс*, $T = 10^{10}$ лет, $\nu = 0{,}05$, $c = 3 \cdot 10^{10}$ *см/сек*, $Q = 4$, то $L = 4500$ лет. При $K > 1$ может осуществиться «эффект обратной связи». Следовательно, все дело в том, будет ли «неискаженное» эффектом обратной связи время технологической эры L больше или меньше $L_0 \approx 5000$ лет. Заметим, что

L_0 определяется довольно уверенно, так как все величины, от которых оно зависит, входят в степени $^1/_4$. Поэтому даже очень большие ошибки в оценках d_0, ν_0 и Q не могут внести существенную погрешность в оценке L_0. Если L значительно больше 5000 лет, то из-за «эффекта обратной связи» оно может существенно увеличиться. Трудно, а может быть пока и невозможно, говорить, до какого значения по этой причине может увеличиться L. Сам фон Хорнер полагает маловероятным, чтобы L увеличилось, например, до миллиона лет. Скорее всего, L будет значительно меньше. Впрочем, как уже подчеркивалось раньше, его оценки весьма субъективны.

Для эффекта обратной связи могут быть весьма существенны флуктуации в пространственно-временно́м распределении инопланетных цивилизаций даже в случае, когда $t_0' > 1$. Если в какой-нибудь пространственно-временно́й области благодаря таким флуктуациям обратная связь привела к существенному увеличению l, то это может иметь большое значение для многих технически развитых цивилизаций. Вполне может случиться, что для них l начнет расти, и этот процесс распространится на всю Галактику. Аналогом этому явлению может служить быстрое размножение живых организмов в подходящей среде.

Представляется довольно очевидным, что «эффект обратной связи» может иметь решающее значение для проблемы разумной жизни во Вселенной. В конечном итоге он может быть основным способом развития мыслящей материи в масштабе Галактики и даже Метагалактики. К этому вопросу мы еще вернемся в гл. 25.

Как уже отмечалось, очень важным результатом теоретико-вероятностного рассмотрения интересующей нас проблемы является вывод о том, что инопланетные цивилизации разделены огромными расстояниями порядка 1000 *пс*, что весьма осложняет межзвездную связь. В такой обстановке представляет интерес обсуждение характера ожидаемых радиосигналов. Согласно фон Хорнеру, природа сигналов в конечном итоге определяется целью, для которой они служат. Кроме того, способ их передачи должен быть наиболее экономичным. Можно ожидать трех типов радиосигналов. Во-первых, радиоизлучение от различных планет, обусловленное наличием на них телевидения и других индустриальных факторов. Во-вторых, направленная радиосвязь между различными цивилизациями типа той, о которой речь шла в гл. 19. Наконец, логически следует ожидать сигналов, направленных на привлечение внимания «партнеров», с которыми связь еще не установлена. Эти три типа сигналов фон Хорнер называет соответственно «местным радиовещанием», «дальним вызовом» и «сигналом для установления контакта».

Что касается «местного радиовещания», то фактически о нем уже шла речь в гл. 14. Там было показано, что благодаря деятельности человечества мощность радиоизлучения Земли на метровом диапазоне составляет около 1 *вт/гц*, а яркостная температура Земли на том же диапазоне уже сейчас порядка сотен миллионов градусов, что составляет заметную долю от радиоизлучения спокойного Солнца на

этом диапазоне. Если бы воображаемый наблюдатель находился на расстоянии 10 световых лет от Земли, где находятся ближайшие к нам звезды, поток радиоизлучения от Земли на метровом диапазоне был бы около 10^{-35} *вт/м²·гц* — величина совершенно ничтожная. Чтобы это излучение при современных средствах наблюдения можно было обнаружить, мощность «индустриального» радиоизлучения должна быть увеличена в сотни миллионов раз. В принципе такую возможность в будущем исключить нельзя (см., например, гл. 24). Тем не менее сигналы «местного радиовещания», как можно полагать, будут очень слабыми.

Сигналы типа «дальних вызовов» могут быть обнаружены только случайно, если Земля будет находиться в направленном радиолуче, связывающем две какие-нибудь цивилизации. Фон Хорнер оценил вероятность такого «перехвата», которая равна

$$P = \left(\frac{\pi}{120}\right) q^3 \beta^2 n^2,$$

где β — ширина диаграмм направленности антенн (предполагаемых одинаковыми), на которых поддерживается межзвездная радиосвязь, q — отношение дальности, на которой сигнал еще можно обнаружить, к дальности, на которой он уверенно расшифровывается; q всегда больше единицы, так как о б н а р у ж и т ь сигнал, конечно, проще, чем его расшифровать. Сделано предположение, что каждая цивилизация поддерживает связь с n соседними. Любопытно, что «вероятность перехвата» P совершенно не зависит от l и d.

Полагая, что P достаточно велико, чтобы имело смысл организовать «службу перехвата» (например, $P=1/2$), $q=5$, $\beta=1$ мин. дуги, что соответствует диаграмме направленности больших современных радиотелескопов, нужно предположить, что $n=1300$. Другими словами, сигналы могут быть перехвачены только тогда, когда каждая цивилизация одновременно «разговаривает» с 1300 соседями. Похоже, что это маловероятно. Сохраняя требование $P=1/2$ и полагая $n=50$, надо принять, что $q=10$ и $\beta=10$ мин. дуги, что также довольно маловероятно. В общем следует сказать, что вероятность «перехватить» чужие каналы межзвездной радиосвязи невелика.

Очень большой интерес представляет анализ проблемы природы сигналов, цель которых — установить контакт с инопланетными цивилизациями. Прежде всего, такие сигналы должны привлечь к себе внимание. В то же время естественно предположить, что метод посылки этих сигналов должен быть достаточно «экономичным». Это означает, что затрата усилий, энергии и пр. должна быть по возможности минимальной, а «радиус воздействия» их — максимальным. Остановимся на этом вопросе несколько более подробно. Пусть имеется несколько методов посылки «сигналов контактов» для привлечения внимания неизвестных инопланетных цивилизаций. Для каждого метода можно оценить некоторый эквивалент «стоимости» C, которую надо «затратить», чтобы вероятность P_d обнаружить сигнал

на расстоянии d за время t_d была достаточно большой. Можно принять, например, что $P_d = 1/2$, $d = 1000$ световых лет, а t_d — порядка нескольких сотен лет. Тот из предложенных методов, для которого величина C наименьшая, и следует выбрать. Заметим, однако, что сам по себе критерий «экономичности» остается достаточно неопределенным. Как уже указывалось раньше, наши современные критерии экономичности могут весьма отличаться от аналогичных критериев у высокоорганизованных цивилизаций.

Фон Хорнер полагает, что величина C будет наименьшей, если вся мощность посылается в достаточно узком пучке, и притом на некоторой определенной частоте, которую неизвестные партнеры во Вселенной смогут заранее угадать. В гл. 19 мы уже подробно рассматривали идею Коккони — Моррисона, согласно которой частота сигнала должна быть равна универсальному природному эталону — частоте радиолинии водорода.

Очень большое значение для величины C имеет выбор правильного плана посылки «сигналов». Это означает, что должна быть хорошо продумана система распределения передаваемой энергии в пространстве и времени. Кроме того, план может предусматривать некоторые регулярные изменения частоты посылаемых сигналов. Он должен быть достаточно простым и логичным, чтобы его заранее могли понять неизвестные партнеры. Так как длительность посылки сигналов достаточно велика, соображения «экономичности» требуют, чтобы в этих сигналах содержалась некоторая информация. Информация может содержаться либо в самом сигнале, например, путем его модуляции, либо путем указания на специальную частоту, на которой эта информация посылается.

Такое указание может быть сделано, например, следующим образом. «Сигнал привлечения внимания» должен состоять из большого количества сигналов, посылаемых на разных фиксированных частотах, симметричных по отношению к некоторой центральной частоте. По мере приближения к этой центральной частоте интервалы частот между соседними (по спектру) сигналами становятся все более и более узкими, а сами сигналы — все более узкополосными. Тем самым дается «указание», что центральная частота имеет какой-то смысл и, следовательно, к ней привлекается внимание. На этой частоте через определенные промежутки времени (может быть, один раз в несколько лет, хотя эти промежутки времени, конечно, не могут быть кратными земным годам, месяцам или суткам) передается информация. Последняя может, например, сперва содержать «лингвистическое введение».

Разумеется, этот пример имеет чисто иллюстративное значение.

Однако, пожалуй, самым эффективным методом установления контакта между инопланетными цивилизациями является передача изображения. При этом предполагается, что все разумные существа, населяющие разнообразные планеты, должны быть зрячими. Такое предположение выглядит весьма правдоподобно. Ведь у нас на Земле зрением обладает огромное количество видов живых

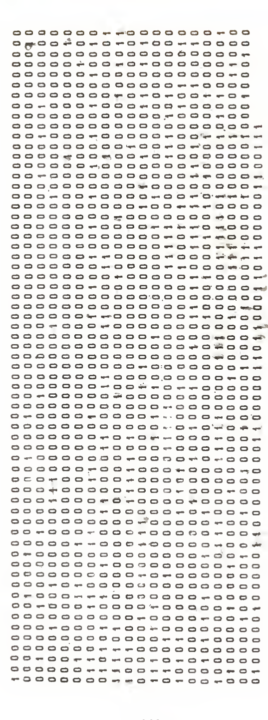


Рис. 52. «Космическое» послание.

существ, от низших до самых высших. Зрение является мощнейшим способом получения живыми существами информации от внешнего мира, обеспечивающим огромное количество сохраняющих реакций (см. гл. 12).

Эффективность метода передачи информации посредством изображения была остроумно продемонстрирована Дрэйком на радиоастрономической конференции в Грин Бэнк (США). Допустим, сообщил он, что от некоторой звезды регулярно получаются радиоимпульсы малой длительности, разделенные интервалами, кратными длительности импульса. На первый взгляд, эти интервалы разбросаны беспорядочно. Через определенный промежуток времени та

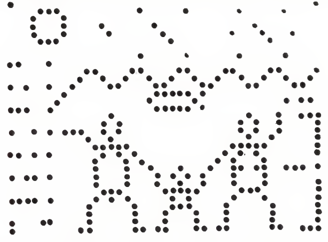


Рис. 53. Дешифровка «космического» послания.

же последовательность импульсов повторяется. Это должно явно указывать на их искусственное происхождение. Если изобразить каждый импульс единицей, а «пустой» промежуток времени, по длительности равный длительности импульса,— нулем, то получится запись, представленная на рис. 52. Дрэйк предложил участникам конференции расшифровать этот сигнал. Самое удивительное то, что очень скоро значительное число участников с этой задачей справилось.

Ход их рассуждения был такой. Всего в записи содержится 1271 знак (единиц и нулей). Число 1271 есть произведение двух простых сомножителей 41×31. Естественно возникает предположение, что сигнал представляет собой кадр телевизионного изображения, в котором 31 строка и 41 элемент в строке (может быть, конечно, наоборот, но от этого изображение повернется на 90°, что не существенно). Так как большинство знаков — нули, изображение контурное. Развернем это изображение по строкам, причем вместо единиц будем ставить черные кружки. Тогда получится забавная картинка, представленная на рис. 53.

Эта картинка содержит довольно богатую информацию. Прежде всего видно, что разумные существа, населяющие планету, антропоморфны и размножаются таким же способом, как их коллеги по разуму, населяющие Землю. У них есть такая важная общественная ячейка, как семья. Грубая окружность в левом верхнем углу картинки должна изображать их Солнце, а ряд точек, расположенных вдоль левого края изображения сверху вниз,— его планетную семью. Против каждой из таких точек в двоичной системе счисления изображен порядковый номер планеты *). Левая фигура указывает рукой на четвертую (по порядку удаления от их Солнца) планету. Именно на этой планете имеется разумная жизнь.

От третьей сверху планеты горизонтально идет волнистая линия. Это можно истолковать таким образом: поверхность третьей планеты покрыта жидкостью (вероятно, водой). Под волнистой линией схематически изображено некоторое рыбообразное существо — представитель фауны этой планеты... Следовательно, можно сделать важный вывод: аборигены далекого мира могут совершать межпланетные перелеты. Жизнь на планете основывается на тех же примерно химических процессах, что и у нас на Земле, ибо в верхней части изображения схематически представлены (слева направо) атомы водорода, углерода и кислорода. Изображение содержит также ценную информацию о размерах разумных существ, населяющих этот чужой мир. Справа от фигур находится «метка роста», посредине которой изображено число 11. Значит, рост взрослых особей — 11 единиц некоторого масштаба. Что это за масштаб? Так как передача изображения велась на волне 21 *см*, естественно считать длину волны межзвездной радиолинии единицей масштаба. Значит, наши «братья по разуму» заметно выше нас: их рост достигает 321 *см*... Наконец, над вытянутой рукой правой фигуры изображено число 6. Похоже на то, что эти существа шестипалые, что делает весьма вероятным предположение, что они пользуются двенадцатиричной системой счисления...

Приходится только удивляться, какое большое количество информации мы получили из простого анализа 1271 элемента. Этот пример наглядно иллюстрирует возможности обмена информацией методом передачи изображения. В принципе такое ничтожно малое количество элементов может быть передано в очень узкой полосе частот за весьма малый промежуток времени.

Если полоса частот достаточно широка и передача носит длительный характер, количество информации, которая может быть передана, существенно превзойдет всю сумму знаний человечества. Чтобы «почувствовать», так ли это, приведем следующий пример. Известно,

---

*) В двоичной системе каждое число представляется суммой степеней 2: $n=a_0 2^0+a_1 2^1+a_2 2^2+\dots$, где a_i принимают значения либо 1, либо 0. В первом случае ставится точка, во втором делается пропуск. Например, число 11 можно представить как $1\cdot 2^3+0\cdot 2^2+1\cdot 2^1+1\cdot 2^0$ или ... На рис. 53 слева от изображения каждого числа дополнительно ставится еще точка, как это делается, например, при телеграфировании.

что за всю историю человеческой культуры было написано около 100 млн. книг и рукописей. Будем считать (условно), что средний объем одной книги — 10 авторских листов. Так как в одном авторском листе содержится, по существующим стандартам, 40 тыс. печатных знаков, то полное количество таких знаков в 100 млн. книг будет $40 \cdot 10^{13}$. Если каждый знак кодировать в двоичной системе и передаче информации предпослать сколь угодно обширное лингвистическое введение, полное число знаков двоичного кода, которое должно быть передано, будет порядка $(1-2) \cdot 10^{14}$. Если теперь полоса частот передающегося сигнала будет 1000 *Мгц* (что легко достижимо в диапазоне 21 *см*), то потребуется 10^5 *сек* или всего лишь немногим более суток, чтобы передать содержание всего, что когда-либо было написано людьми! Разумеется, такие сложные передачи должны следовать за более простыми «сигналами» установления контактов типа картинки, изображенной на рис. 53.

Конечно, передавать подряд содержание 100 млн. книг есть варварский способ установления контактов между инопланетными цивилизациями. Все это можно сделать несравненно более экономично. Наиболее эффективные методы установления таких контактов должны разрабатываться совместными усилиями специалистов по кибернетике, математической логике, радиоэлектронике.

Вырисовываются контуры совершенно новой науки. Назовут ли ее «космической лингвистикой» или как-нибудь иначе — вопрос второстепенный. Ясно только то, что такая наука обязательно будет развиваться.

Уже сейчас первые шаги в этом направлении сделаны в Голландии. Мы имеем в виду разработанный доктором Фройденталем проект универсального языка для связи с инопланетными цивилизациями. Этот язык даже получил название — «линкос». Речь идет о создании чисто логического языка, полностью «очищенного» от таких ненужных нагромождений, как всякого рода исключения из правил, синонимы и пр. Это чисто «семантический» язык, освобожденный от какого бы то ни было фонетического звучания. Слова этого языка никогда и никем во Вселенной произноситься не будут. Закодированные в какой-нибудь системе (например, двоичной, хотя это и совершенно не обязательно), они будут передаваться в космос радиотелескопом подходящей мощности.

Для «линкоса» большое значение имеет четкая и логически безупречная система классификации и нумерации отдельных частей «космического послания» — глав, параграфов и т. д. Без этого послание нелегко будет расшифровать. Напротив, четкое разграничение отдельных частей его позволит при дешифровке космического послания легко переходить, скажем, от «математической» главы к «биологической» или еще какой-нибудь, представляющей специальный интерес для «космического корреспондента».

Передачи «линкос» должны начинаться с самых элементарных понятий математики и логики. Они должны состоять из небольших частей — параграфов, которым предшествуют заголовки («шапки»).

Рассмотрим пример вводной передачи: «Курс — элементарный, раздел науки — математика, глава 1, параграф 1. Заголовок: Ряд натуральных чисел...». Урок состоит из серии простых (т. е. не кодированных) импульсов. Сначала передается один такой импульс, потом два и т. д. Смысл такой передачи должен быть совершенно очевидным для космических корреспондентов. Следующая передача: «Параграф 2. Заголовок: Код чисел: —=1, ——=2, ———=3...». Из этой передачи корреспондент усвоит понятие «равняется» и обозначение соответствующих чисел в системе «линкос». Читатель может выразить естественное сомнение: правильно ли поймет такую передачу космический корреспондент? На такое сомнение мы ответим так: если корреспондент не разберется в таком универсальном послании, нельзя предполагать, что у него могут быть мощные радиотелескопы для приема таких сигналов... Даже если у корреспондента и останутся кое-какие сомнения, следующая, третья, часть послания их устранит: «Параграф 3. Заголовок: Сложение: $1+2=3$, $1+3=4$, $2+3=5$...».

Далее таким же образом будут переданы уроки «вычитание», «умножение», «деление», а затем, постепенно, более сложные разделы математики (число π, натуральные логарифмы, алгебра, анализ). Для обучения геометрии могут быть полезны передачи изображений в сочетании со словами «линкоса».

Пройдя таким образом, курс математики, космический корреспондент овладеет большим количеством важных понятий, как-то: «подобно этому», «больше», «меньше», «отлично от», «верно», «неверно», «примерно», «максимум — минимум», «растет», «убывает» — и даже пресловутым «легко показать, что...». Все эти понятия, логический смысл которых совершенно бесспорен, пригодятся корреспонденту при последующей дешифровке.

По мысли Фройденталя, «линкосом» могут быть переданы и значительно более трудные понятия «гуманитарного» характера, такие как «трусость», «гнев», «сообразительность», «альтруизм». Это достигается разыгрыванием небольших сцен между воображаемыми персонажами. Сперва такие сцены будут носить только математический характер.

Поясним это примером. «Курс — элементарный, область науки — поведение. Тема беседы — способность к мышлению». Человек A говорит человеку B (обозначим это символом $A \to B$): сколько будет $2+3$?

$B \to A$: $2+3=5$.

$A \to B$: верно.

Далее ряд аналогичных сцен. Затем появляется персонаж C.

$A \to B$: сколько будет $15 \cdot 15$?

$B \to A$: $15 \cdot 15=220$.

$A \to B$: неверно.

$A \to B$: сколько будет $15 \cdot 15$?

$C \to A$: $15 \cdot 15=225$.

$A \to C$: верно. C более разумный, чем B.

После этой передачи следует ряд аналогичных сцен нарастающей трудности. Рано или поздно корреспондент поймет, что в этих передачах речь идет не о математике (это уже было, да и примеры нарочито наивны). Это — театр, представление. А раз так, возникают понятия эмоций, чувств, поступков.

Выше уже говорилось, что лингвистические передачи разумно чередовать с передачей изображений. Такие передачи могут содержать уже богатую научную информацию (см. рис. 44). Не представляет труда передавать изображения и схемы устройства различных животных, веществ, структур, сопровождая их пояснениями на «линкосе». Так, например, периодическая система элементов Менделеева может быть передана простым изображением (построенным по принципу рис. 54). По оси абсцисс откладывается число протонов в ядре соответствующего элемента, по оси ординат — число нейтронов. Из этого изображения легко понять, сколько устойчивых изотопов соответствует каждому элементу. (Следует представить, что три полосы на рис. 54 в действительности образуют одну полосу, идущую слева вверх направо. Приведенная на рис. 54 форма изображения обусловлена соображениями экономии места.)

Не представляют принципиальных затруднений передачи физических, астрономических или химических постоянных. Можно принять и объяснить корреспонденту единицу длины, например 21 *см*, и через нее выразить все линейные единицы: единица массы может быть связана, например, с массой электрона, а единица времени определяется из скорости света и принятого эталона длины. В конечном итоге таким способом можно экономично передавать любую сколь угодно сложную научную информацию.

Не следует, однако, закрывать глаза на те гигантские трудности, с которыми может столкнуться проблема дешифровки сигналов. Хорошо известно, что письменность значительного количества исчезнувших с поверхности Земли цивилизаций, несмотря на большие усилия нескольких поколений ученых, все еще не расшифрована. А ведь создавали эту письменность люди, т. е. существа с системой мышления, с системой отражения в своем сознании внешнего мира, вполне тождественной нашей! К тому же соответствующие цивилизации были на гораздо более низком научном и технологическом уровне, чем наша современная цивилизация. Что же можно ожидать от «космического послания», составленного хотя и высокоинтеллектуальными, но совершенно другими существами? Ведь внешний мир в их сознании может отражаться совершенно иначе, чем в нашем.

Вполне естественно поэтому, что на Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям многие высказывания по этому поводу носили довольно пессимистический характер. Так, например, Моррисон высказал опасение, что скорость получения сигналов может оказаться больше нашей способности к их пониманию. Даже если дешифровка сигналов не станет проблемой, может, как полагает Моррисон, возникнуть специфическая трудность. Он оценивает весь объем опыта всего человечества в 10^{21}—10^{22} бит. Как видим, эта

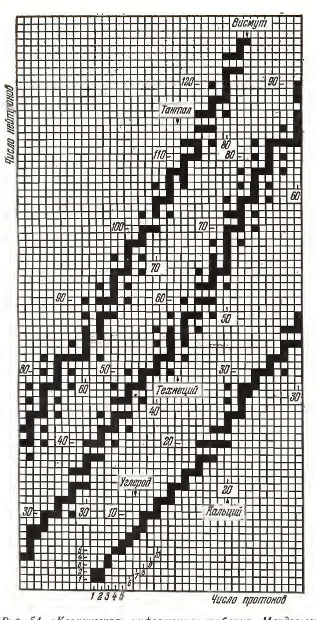


Рис. 54. «Космическая» информация: таблица Менделеева.

величина гораздо больше, чем информация, содержащаяся во всех когда-либо написанных книгах и рукописях (см. выше). По мнению Моррисона, бо́льшая часть человеческого опыта не выражена — она относится к внутренним переживаниям отдельных индивидуумов. С другой стороны, если когда-нибудь будет получен космический сигнал искусственного происхождения, то скорость прироста информации будет около 10^{10}—10^{11} бит в секунду. Эта скорость определится шириной полосы частот радиоканала, которая вряд ли превысит 10^{10}—10^{11} *гц*. Отсюда, заключает Моррисон, потребуется много тысяч лет для удвоения объема информации, которым располагает человечество. Следовательно, пессимистически заключает Моррисон, прием сигнала от внеземных цивилизаций, кроме самого факта приема, ничего не изменит в человеческом опыте.

Гораздо проще добавочную информацию накопить самим...

Однако большинство участников Бюраканского симпозиума никак не могло согласиться с этим софизмом. Например, Дрэйк очень спокойно спросил у Моррисона: «Как Вы думаете, сколько бит информации содержится в формуле Эйнштейна $E=mc^2$?» Вопрос Дрэйка попал, что называется, в точку. Ведь учет только количества информации является совершенно неправомерным формальным приемом. Для оценки информации необходимо пользоваться какими-то другими критериями, учитывающими не только количество, но и качество информации.

По основной проблеме дешифровки сигналов крайне пессимистическая точка зрения была высказана на Бюраканском симпозиуме советским радиоастрономом Б. Н. Пановкиным. Он подчеркнул, что материальные предметы не являются непосредственным содержанием нашего знания. Процесс познания имеет дело с образами, в которых как бы «сливаются» объективные свойства предметов и субъективные характеристики мышления отдельных индивидуумов. Поэтому, заключает Пановкин, для понимания сообщения необходима идентичность исторического пути развития обоих «корреспондентов». Понимание сообщения возможно или при «догадке» о его структуре, или при мощном кибернетическом анализе. В частности, Пановкин считает невозможным обмен информацией при помощи космических языков типа «линкос».

Соображения Б. Н. Пановкина заслуживают серьезного рассмотрения. Мы, однако, не разделяем его пессимизма. Конечно, проблема дешифровки сигнала очень трудна. Однако Пановкин явно недооценивает интеллектуальные возможности получателей сигнала. Ведь в принципе можно осуществить вероятностное моделирование мышления передающих сигнал «корреспондентов», хотя это и нелегкая задача.

На Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям довольно оживленно обсуждался и другой немаловажный вопрос: полезно или вредно будет установление контактов с «небожителями». По этому поводу высказывались самые разные предположения. Ряд американских участников симпозиума высказал определенные опа-

сения. Так, например, видный американский историк Мак Нейл подчеркивал, что на Земле сильная (т. е. более развитая) культура всегда доминировала над более слабой, вне зависимости от политического подчинения. Он полагает, что при установлении контакта с внеземными цивилизациями, уровень которых значительно выше нашего, возможно «угнетение» нашей цивилизации, вплоть до ее растворения в более высокой цивилизации.

Внеземные цивилизации в принципе могут посылать информацию «разлагающего» характера — например, передать структуру какого-нибудь супергалюцигенного препарата невиданной силы. Может быть, для внеземной цивилизации применение таких препаратов — норма существования, между тем как для нашей — оно смертельно.

Еще раз подчеркнем, что прежде чем будет налажен оживленный обмен информацией между инопланетными цивилизациями, должны быть установлены более простые контакты между ними. Мы полагаем, например, что для сигналов «привлечения внимания» лучше всего использовать по возможности мощный и з о т р о п н ы й (т. е. излучающий равномерно во все стороны) источник радиоизлучения. При этом сигнал должен уже содержать богатую информацию. В гл. 25 мы рассмотрим очень интересную идею посылки космических сигналов, высказанную Н. С. Кардашевым.

Возвращаясь к теоретико-вероятностным расчетам фон Хорнера, содержание которых излагалось в начале этой главы, мы считаем необходимым высказать одно критическое замечание. При всем остроумии этих расчетов они исходят из технических возможностей нашей современной, «земной» цивилизации. Между тем необходимо считаться с тем фактом, что уровень развития разумной жизни, по крайней мере у некоторых инопланетных цивилизаций, может (и должен) быть существенно выше. Поэтому нельзя не считаться с тем, что оценки фон Хорнера могут быть самым коренным образом изменены. Чтобы сделать правильный прогноз в этом направлении, очень важно суметь выявить существенные тенденции в развитии разумной жизни на Земле. Нам представляется, что исключительно широкие перспективы развития автоматики, кибернетики и молекулярной биологии могут коренным образом изменить оценки фон Хорнера. Об этом будет идти речь в 26 главе нашей книги.

23

О возможности прямых контактов между инопланетными цивилизациями

В предыдущих главах мы разобрали несколько мыслимых методов установления контактов между инопланетными цивилизациями. Довольно подробно были рассмотрены вопросы межзвездной радиосвязи, оптической сигнализации с помощью лазеров, а также возможности применения для этой цели автоматических ракет-зондов. А между тем остался не рассмотренным один, если можно так выразиться, «тривиальный» способ связи — непосредственные контакты между разумными обитателями различных планетных систем. Совершенно очевидно, что такой тип установления контактов между инопланетными цивилизациями предполагает возможность межзвездных перелетов разумных существ на соответствующих летательных аппаратах.

Имеется огромное количество фантастической и полуфантастической литературы, в которой такие межзвездные перелеты астронавтов описывались с большим количеством захватывающих подробностей. Меньше всего нам хотелось бы повторять эти наивные, большей частью банальные и нередко смешные повествования. Но, с другой стороны, наша книга была бы недостаточно полной, если бы в ней не была отражена возможность прямых контактов между различными разумными обитателями Космоса.

Такой способ контактов имеет в принципе ряд преимуществ перед другими, например основанными на посылке электромагнитных сигналов. Прежде всего, межзвездная связь на электромагнитных волнах осуществляется слишком уж медленно. По меньшей мере несколько тысяч лет должно пройти, прежде чем наладится двусторонний разговор — срок, расхолаживающе большой. Далее, все-таки нет 100%-ной гарантии, что длина волны 21 *см* является универсальным для всех инопланетных цивилизаций каналом связи. Если же будет разнобой в стандарте длины волны (даже в случае, когда длина волны в целое число раз меньше 21 *см*), межгалактическая связь окажется довольно затруднительной. Если говорить о связи между цивилизациями, удаленными друг от друга на расстоя-

ния больше 2—3 тыс. световых лет, то, учитывая, что канал связи в таких случаях должен проходить в сравнительной близости от галактической плоскости, следует считаться с большим поглощением радиоволн. Правда, поглощение может значительно уменьшиться, если немного (на 1—2 *Мгц*) отойти от частоты радиолинии водорода ($f=1420$ *Мгц*). Это, однако, осложнит поиски сигнала. Разумеется, все эти обстоятельства не являются сколько-нибудь решающим возражением против метода контактов с помощью электромагнитных волн. Скорее, они указывают на трудности такой связи. Но и без этого ясно, что установление межзвездной радиосвязи — дело далеко не простое....

Мы сейчас приведем аргумент в пользу метода непосредственных контактов между цивилизациями, носящий принципиальный характер. Дело в том, что «электромагнитный» метод установления связи между цивилизациями совершенно исключает два типа контактов: а) контакты между технологически развитыми и технологически не развитыми цивилизациями, б) обмен материальными предметами между различными инопланетными цивилизациями*). Контакты типа а) могут представлять большой познавательный интерес для высокоразвитых цивилизаций. Следует еще учесть, что возможная длительность «дотехнической» стадии у многих цивилизаций может быть весьма значительной. Поэтому количество цивилизаций такого типа может намного превосходить количество технически развитых цивилизаций. Потребность в контактах типа б) может возникнуть, например, после установления между высокоразвитыми цивилизациями электромагнитного канала связи. Далее очевидно, что контакты типа а) могут быть неразрывно связаны с контактами типа б).

Таким образом, у высокоразвитых цивилизаций безусловно возникнет потребность в установлении непосредственных контактов со своими «братьями по разуму». Осуществлять такие контакты могут либо живые существа, либо автоматические кибернетические устройства. В принципе, однако, нельзя провести резкую границу между обоими этими случаями (см. гл. 26).

Проблема установления прямых контактов есть, прежде всего, проблема осуществления межзвездных перелетов. Уже давно известна одна замечательная особенность таких перелетов. Если скорость движения летательного аппарата достаточно близка к скорости света c, время для «пассажиров» этого аппарата течет заметно медленнее по сравнению с течением времени на оставленной ими планете. Мы здесь не будем пояснять этот общеизвестный вывод теории относительности. Таким образом, для пассажиров летательного аппарата открывается принципиальная возможность совершить перелет на

*) Впрочем, имеется принципиальная возможность передать по радио самую исчерпывающую информацию о материальном предмете любой сколь угодно высокой степени организации (например, о разумном существе.) На основе этой информации инопланетная цивилизация из своих материальных ресурсов сможет изготовить такой предмет.

огромные расстояния, исчисляемые сотнями и тысячами световых лет, и остаться при этом в живых, только немного постарев.

Поясним сказанное на конкретных примерах. Пусть летательный аппарат движется с постоянным ускорением a и затем на полпути до цели полета начнет тормозиться с тем же ускорением. На основании расчетов Пешка и Зангера, опубликованных соответственно в 1956 и 1957 гг., Саган дает следующее выражение для времени полета t, отсчитанного «по часам» пассажиров летательного аппарата:

$$t=\left(\frac{2c}{a}\right)\operatorname{arcch}\left(1+\frac{aS}{2c^2}\right),$$

где S — длина межзвездной трассы, ch — гиперболический косинус. Вычисления показывают, что при таком характере полета и при $a=g$ (ускорение силы тяжести Земли) наш аппарат долетит до ближайших звезд за несколько лет, до галактического ядра, удаленного от нас на расстояние около 30 тыс. световых лет,— за 21 год, а до ближайших галактик (например, до туманности Андромеды) — за 28 лет (по часам его пассажиров!). Заметим, что a может быть равно $2g$ и даже $3g$ — ускорение, «привычное» для разумных обитателей больших планет (если таковые, конечно, есть). В этих случаях значение t может быть уменьшено почти в два раза. С другой стороны, пока летательный аппарат совершит свой полет в оба конца, на планете, которую покинули космонавты, пройдет время, гораздо большее, чем t. Это время приблизительно равно удвоенному расстоянию до цели полета, выраженному в световых годах (время разгона до релятивистской скорости при движении с постоянным ускорением g будет около одного года — величина, для «дальних рейсов» пренебрежимо малая). Например, по календарю «материнской» планеты пройдет свыше 3 млн. лет, пока астронавты совершат полет к туманности Андромеды и обратно, а до скопления галактик в созвездии Волос Вероники — несколько сот миллионов лет. При полетах на достаточно большие (например, трансгалактические) расстояния формула для t немного упрощается и принимает вид

$$t=\frac{2c}{a}\ln\left(\frac{aS}{c^2}\right),$$

откуда при $S=2\cdot10^{26}$ *см* (расстояние до скопления галактик в Волосах Вероники) $t=38$ лет.

Неоднократно указывалось, что полет с почти световой скоростью сопряжен с исключительными трудностями. Так как ускорение и замедление ракеты требуют огромных ресурсов энергии, специфические трудности, которые при этом возникают, вряд ли даже в принципе преодолимы. Дело в том, что при сколько-нибудь приемлемом отношении полной начальной массы ракеты (обозначим ее через M_i) к массе, оставшейся после выгорания горючего (M_0), скорость ракеты после выгорания горючего (V) составит лишь малую часть скорости света (c). Это будет иметь место даже

тогда, когда в качестве источника энергии будут использоваться ядерные реакции как распада (уран), так и синтеза (термоядерная реакция). В самом деле, напишем основную формулу теории реактивного движения

$$\frac{V}{W} = \ln\left(\frac{M_i}{M_0}\right),$$

где W — скорость выброса рабочего вещества ракеты. Максимально возможная величина W при урановой реакции будет около 13000 *км/сек*. Для термоядерной реакции W немного больше. Следовательно, для того чтобы скорость ракеты после выгорания горючего V была порядка скорости света c, надо, чтобы M_i было в сотни миллионов раз больше, чем M_0, что явно неприемлемо. Отсюда можно сделать вывод, что только фотонная ракета (если бы, конечно, ее удалось когда-нибудь построить), для которой $W=c$, может обеспечить межзвездный полет со скоростью, достаточно близкой к скорости света. При этом, однако, возникают новые трудности.

Из теории реактивного движения следует, что ускорение ракеты b определяется простой формулой

$$b = \frac{2P}{W},$$

где P — отношение мощности двигателей ракеты к ее полной массе. В случае фотонной ракеты эта формула принимает еще более простой вид

$$b = \frac{P}{c}.$$

Из этой формулы сразу же следует, что если мы хотим, чтобы ускорение ракеты b равнялось привычной для нас величине земного ускорения g, нужно, чтобы $P=3$ млн. *вт/г*. Эта величина является чудовищно большой. Чтобы почувствовать, что это такое, приведем пример.

Современная американская подводная лодка с атомным двигателем мощностью в 15 млн. *вт* имеет вес 800 *т*. Следовательно, для нее $P=0{,}02$ *вт/г*. Это в 150 млн. раз меньше той «удельной мощности», которая требуется для того, чтобы наша гипотетическая фотонная ракета двигалась с ускорением $b=g$. Если бы для такого межзвездного корабля был построен двигатель мощностью в 15 млн. *вт* (что достаточно для удовлетворения потребности в энергии небольшого города), он весил бы ...5 граммов! Заметим, что в этот вес входят (в случае двигателя фотонной ракеты) масса горючего, масса гигантских рефлекторов (необходимых для обеспечения работы фотонной ракеты) и масса аппаратуры.

Из этого расчета с достаточной очевидностью следует, что трудности «количественного» характера настолько велики, что явно перерастают в качественные. Если мы попытаемся сколько-нибудь значительно уменьшить P, пропорционально уменьшится

ускорение b и ракета уже не сможет за приемлемое время достигнуть релятивистской скорости.

Таким образом, вопреки мнению писателей-фантастов, межзвездные фотонные ракеты, движущиеся с релятивистской скоростью, вероятнее всего, никогда не будут построены. Каждой эпохе свойственно переоценивать свои технические возможности. Вспомним в этой связи, что в XIX столетии серьезно обсуждались проекты полета на Луну ... с помощью парового двигателя. Еще раньше некоторые писатели-фантасты надеялись совершить такое путешествие... на воздушном шаре. В наши дни мы являемся свидетелями явной переоценки возможностей реактивной техники.

Эта техника является идеальной при полетах на межпланетные расстояния и при грядущем преобразовании Солнечной системы человеком (см. гл. 25.) Более того, ракеты могут быть мощным средством постепенной экспансии цивилизации от одной планетной системы к другой, находящейся в непосредственной близости. В гл. 21 мы уже рассматривали такую возможность в связи с проектом Брэйсуэлла. Существенно, однако, что при такой «экспансии» (или «диффузии») цивилизаций движение ракет будет происходить с нерелятивистской скоростью. Но для непосредственного контакта между разумными существами, разделенными межзвездными расстояниями (а для этого нужны фотонные ракеты, движущиеся с релятивистской скоростью), реактивная техника из-за указанных выше трудностей, по-видимому, непригодна.

Имеется, однако, принципиальная возможность совершенно по-новому подойти к проблеме межзвездных и трансгалактических перелетов с почти световыми скоростями. В последние годы эту новую идею выдвигал ряд авторов, но наиболее полное рассмотрение принадлежит Бюссару. Речь идет о возможности использования межзвездной среды, с одной стороны, как термоядерного горючего, с другой — как рабочего вещества ракеты. Так как межзвездный газ состоит преимущественно из водорода, на ракете должно быть установлено термоядерное устройство, синтезирующее из ядер водорода ядра дейтерия. Сооружению такого устройства не препятствует ни один из известных законов физики. Поэтому можно полагать, что когда-нибудь такой термоядерный реактор будет построен.

Особенность такого летательного аппарата реактивного действия состоит в том, что поверхность, через которую должен всасываться межзвездный газ, должна быть очень большой. Расчеты показывают, что «поверхностная плотность» ракеты этого типа должна быть 10^{-8} *г/см*^{2} при условии, что в окружающем пространстве в 1 *см*^{3} имеется один атом водорода. В общем случае поверхностная плотность ракеты обратно пропорциональна концентрации межзвездного газа n_{H}. Если масса ракеты равна, например, 100 *т*, а $n_{\mathrm{H}} = 1$ *см*$^{-3}$, поверхность, через которую должен всасываться межзвездный газ, равна 10^{15} *см*^{2}. Это означает, что радиус такой поверхности должен быть около 700 *км*. В метагалактическом пространстве,

где $n_H \leqslant 10^{-5}$ *см*$^{-3}$, «радиус всасывания» должен быть еще в сотни раз больше. Конечно, это большая трудность. Но кто же может поручиться, что в перспективе нескольких столетий (а может быть, и быстрее) эта трудность не будет преодолена?

Если когда-нибудь этот способ передвижения в космосе будет освоен, наши потомки станут свидетелями удивительного «возврата» принципов космического полета от ракеты к... самолету, для полета которого, как известно, необходима материальная среда.

Имеется еще одна фундаментальная трудность, возникающая при движении летательного аппарата с почти световой скоростью. Столкновение такого аппарата с межзвездными атомами и особенно пылинками может иметь губительные последствия для экипажа звездолета. В самом деле, максимальная скорость ракеты при ее полете по описанной выше программе, как показывают вычисления, будет равна

$$v = c\left[1 - \left(1 + \frac{aS}{2c^2}\right)^{-2}\right]^{1/2}.$$

Если, например, $S=30$ тыс. световых лет (что соответствует расстоянию до ядра Галактики), то v отличается от c только на одну миллионную часть процента. При такой скорости каждый столкнувшийся с ракетой атом межзвездного водорода будет подобен частице космических лучей с энергией 10^{13} *эв*. Если в межзвездном пространстве на 1 *см*^{3} приходится один атом водорода, то поток энергии в форме космических лучей через переднюю поверхность ракеты будет $3 \cdot 10^{23}$ *эв/см*^{2} или $2 \cdot 10^{11}$ *эрг/см*^{2}.

Это, конечно, чудовищная величина. Уровень губительной жесткой радиации будет при такой бомбардировке недопустимо высок даже при полетах к ближайшим звездам. Вряд ли экранировка аппарата каким бы то ни было веществом будет эффективной, особенно если учесть очень малое значение отношения полезной массы к массе топлива в случае ракет «обычного» типа и пропорциональность поверхности всасывания межзвездной среды массе летательного аппарата — в случае ракеты, использующей для движения межзвездную среду. Мы не рассмотрели последствия столкновений с пылевыми частицами межзвездной среды, которые при таких скоростях могут быть просто катастрофическими.

Все же перечисленные трудности не дают оснований сделать вывод (как это сделал недавно фон Хорнер), что осуществление межзвездных полетов с почти световой скоростью невозможно даже в ближайшие столетия. Ведь перспектива полета человека на аппарате тяжелее воздуха еще 100 лет назад казалась совершенно неясной. Опыт развития науки и техники учит нас, что, если есть некоторая общественная потребность в изобретении, осуществлению которого принципы науки не препятствуют, оно обязательно рано или поздно будет сделано. А темпы развития науки и техники растут из десятилетия в десятилетие.

Уже в наши дни появляются некоторые идеи, позволяющие в принципе преодолеть трудности, стоящие перед межзвездными полетами. Например, можно представить, что «встречные» межзвездные атомы будут ионизоваться с помощью некоторого агрегата, стоящего на борту ракеты, после чего ионизованные частицы будут отклоняться в сторону сильным магнитным полем.

Таким образом, принципиальных возражений против возможности полетов летательных аппаратов реактивного действия со скоростью, близкой к скорости света, не существует. Коль скоро это так, мы, рассматривая все варианты установления контактов между инопланетными цивилизациями, не можем исключить возможности прямых контактов путем межзвездных перелетов на специальных летательных аппаратах.

При этом возникает волнующий вопрос: не посещалась ли наша планета в прошлом (не обязательно весьма отдаленном) инопланетными астронавтами?

Это — классический сюжет фантастических произведений многих авторов, начиная от Герберта Уэллса и кончая Станиславом Лемом. М. М. Агресту принадлежит заслуга постановки этой проблемы на научную основу.

Основная идея М. М. Агреста, сформулированная им в 1959 г., состоит в следующем. Предположим, что инопланетные астронавты некогда посетили нашу Землю и встретились с людьми. В этом случае столь необыкновенное событие должно было найти свое отражение в легендах и мифах. Для примитивных аборигенов Земли астронавты должны были представляться как существа божественной природы, наделенные сверхъестественным могуществом. Особое значение в таких мифах должно было отводиться небесам, откуда прилетели эти загадочные существа и куда они потом, по всей вероятности, «вознеслись». Эти «небожители» в принципе могли обучать землян полезным для них ремеслам и даже основам наук, что также должно было найти отражение в легендах и мифах.

Сама постановка вопроса М. М. Агрестом нам представляется вполне разумной и заслуживающей тщательного анализа. Хорошо известно, что мифы и легенды, рождавшиеся у народов, еще не знавших письменности, имеют большую историческую ценность. Так, история не имевших письменности народов Черной Африки доколониального периода сейчас реставрируется в значительной степени по их фольклору, основой которого служат легенды и мифы.

Недавно Саган привел в этой связи весьма любопытный пример. В 1786 г. знаменитый французский мореплаватель Лаперуз посетил индейцев северо-западной Америки. Спустя столетие анализ легенд и мифов об этом посещении позволил с большой точностью восстановить даже внешний вид кораблей Лаперуза. Этот пример вполне адекватен, так как первобытными народами первые посещения их европейцами воспринимались примерно так же, как если бы с небес спустились астронавты. На канву фактов из поколения в поколение

нанизывается цепь более или менее фантастических вымыслов, но основа все же остается, тем более что и фантастические наслоения на истинный рассказ происходят по определенным правилам, повидимому, известным этнографическим и лингвистическим наукам.

М. М. Агрест смело считает, что совокупность многих удивительных событий, описанных в Библии, имеет в качестве своей первоосновы посещение Земли инопланетными астронавтами. Так, например, обстоятельства разрушения городов Содома и Гоморры весьма напоминают ядерный взрыв в описании малокультурных наблюдателей... Всякого рода «вознесения на небеса» жителей Земли (например, вознесение Еноха) можно, по Агресту, объяснить взятием астронавтами («ангелами») кого-нибудь из жителей Земли на борт космического корабля. Таких возможностей интерпретации библейских легенд М. М. Агрест приводит довольно большое количество.

Развивая свои идеи, М. М. Агрест в порядке постановки вопроса выдвигает такую гипотезу: не могут ли те или иные памятники материальной культуры прошлого быть связанными с «визитом» инопланетных космонавтов? В этой части, однако, высказывания М. М. Агреста по меньшей мере спорны. Например, известным советским журналистом Г. Н. Остроумовым было доказано, что пресловутого «стального параллелепипеда», якобы хранящегося в музее Зальцбурга, никогда не существовало в природе. Знаменитая стальная нержавеющая колонна в Индии является выдающимся достижением порошковой металлургии древности и никак не связана с космическими пришельцами... Наконец, наделавшее много шума изображение «марсианского бога» в скафандре на фресках сахарских скал представляет собой изображение человека в ритуальной маске и балахоне. Вообще вокруг таких вопросов широкая пресса как в нашей стране, так и за рубежом слишком часто поднимает сенсационную шумиху. Это, конечно, вполне естественно, если учесть огромный интерес к проблемам внеземной разумной жизни со стороны самых широких слоев населения. Тем больше осторожности требуется при анализе появляющихся иногда в печати сообщений о различных удивительных находках.

Пока еще ни один материальный памятник культуры прошлых веков не может с какой-то степенью достоверности связываться с мыслящими пришельцами из космоса. Это, конечно, не означает, что всякие попытки найти такие памятники вздорны и антинаучны. Нужно только с большой критичностью относиться к исследуемому материалу и всегда помнить старую, мудрую китайскую пословицу, которая уже приводилась в гл. 16...

Возвращаясь к концепции М. М. Агреста о возможности в мифах и легендах различных времен найти указания на прилет инопланетных космонавтов, мы еще раз хотим подчеркнуть, что она весьма интересна и заслуживает всяческого внимания. Очень изящной нам представляется также мысль Агреста, что инопланетные

астронавты могли оставить материальные следы своего посещения на... обратной стороне Луны. В самом деле, логично допустить, что они опасались оставлять такие «заявочные» столбы на Земле, так как низкий уровень цивилизации аборигенов нашей планеты с несомненностью привел бы к их разрушению и расхищению... Они могли рассчитывать, что когда человечество освоит обратную сторону Луны, оно тем самым выдержит экзамен на право называть себя разумным и цивилизованным...

В 1962 г. гипотезу, аналогичную предложенной Агрестом, высказал Саган. Прежде всего, Саган находит частоту непосредственных контактов между инопланетными цивилизациями. Он исходит из своих довольно произвольных оценок количества таких цивилизаций в нашей звездной системе. Согласно его оценкам, в Галактике одновременно существует около 10^6 технически развитых цивилизаций. Вряд ли стоит подробно анализировать все предпосылки, которые легли в основу такой оценки. Укажем только, что время существования технически развитой цивилизации (а этой величине, очевидно, пропорционально полное количество таких цивилизаций) у Сагана принимается порядка 10^7 лет, что, пожалуй, является слишком оптимистической оценкой. Принимается, что эти цивилизации планомерно, без «дублирования» исследуют космос. Если каждая такая цивилизация ежегодно (имеется в виду «земной» год) посылает один межзвездный корабль для подобных исследований (такое допущение, конечно, совершенно произвольное), то средний интервал между двумя последовательными «посещениями» окрестностей какой-нибудь «обычной» звезды, как показывает простой расчет, будет равен 10^5 лет.

Средний интервал времени между посещениями планетных систем, на которых имеется разумная жизнь (а такие посещения, естественно, будут в связи с их особой перспективностью более частыми), можно в рамках исходных предположений принять равным нескольким тысячам лет.

Следовательно, имеется отличная от нуля вероятность, что на Земле такие посещения могли быть в историческую эпоху. Подобно Агресту, Саган сосредоточивает свое внимание на различных легендах и мифах. Из всех легенд и мифов он выделяет шумерийский эпос, в котором повествуется о систематическом появлении в водах Персидского залива удивительных существ, обучавших аборигенов основам наук и ремесел. Возможно, что эти события происходили вблизи древнейшего шумерийского города Эриду в первой половине четвертого тысячелетия до нашей эры. Вообще, согласно Сагану, представляется поразительным почти скачкообразный переход шумерийской культуры от долгих тысячелетий варварства и застоя к пышному расцвету городов, построению сложной ирригационной системы и расцвету наук, в частности астрономии и математики.

На наш взгляд гипотезы Агреста и Сагана в их «конкретном» оформлении не противоречат друг другу. Библейские легенды, как

известно, имеют достаточно разветвленные вавилонские корни. Нельзя исключить, что тексты Библии и мифы Вавилона являются отголосками одних и тех же событий. Конечно, ни гипотеза Агреста, ни вариант ее, развитый Саганом, пока не имеют достаточно серьезных научных оснований. Тем не менее они представляют большой интерес и заслуживают внимания.

Любопытно, что, если верить оценкам Сагана (по нашему мнению, повторяем — произвольным), в сравнительно близком будущем можно ожидать очередного прилета на Землю инопланетных астронавтов... Эти астронавты будут весьма удивлены теми «сдвигами», которые произошли у земной цивилизации «за отчетные 5500 лет»...

24

Замечания о темпах развития человечества

Прежде чем остановиться на увлекательной проблеме грядущего переустройства человечеством Солнечной системы (а может быть, и более удаленных областей Галактики), целесообразно хотя бы вкратце обсудить темпы развития человечества за последние несколько столетий «технологической эры» и проанализировать перспективы на сравнительно близкое будущее. Хорошо известно, что эти проблемы издавна служили ареной острой идеологической борьбы. В начале XIX в. английский священник Мальтус выступил с проповедью своей теории, которую Маркс справедливо назвал «людоедской». Согласно Мальтусу рост населения земного шара происходит в геометрической прогрессии, между тем как производство материальных благ следует прогрессии арифметической. Поэтому, полагал Мальтус, прогрессирующее обнищание человечества совершенно неизбежно. Известно, что в качестве выхода из этого затруднительного положения Мальтус проповедовал сокращение рождаемости у неимущих слоев населения. Марксизм вскрыл ошибочный, антинаучный характер мальтузианства. Ниже несостоятельность концепции Мальтуса будет доказана математически.

Как же быстро увеличивалось население нашей планеты за последние столетия? Наиболее надежные данные, показывающие динамику роста народонаселения земного шара, приведены в журнале «Коммунист» № 3 за 1964 г.

Эти данные охватывают период с 1000 г. н. э. Мы представим эти данные в виде графика, который приведен на рис. 55 (по вертикальной оси принят логарифмический масштаб). На этом графике нанесена также точка, соответствующая 2000 г. н. э., когда население Земли, по данным ЮНЕСКО, превысит 6 млрд. человек.

Приведенная на рис. 55 кривая весьма примечательна. Прежде всего, она не может быть представлена экспонентой $N=N_0e^{\alpha t}$. В масштабе рис. 55 экспонента выглядела бы как прямая линия,

чего заведомо нет. Лучше всего кривая роста народонаселения Земли может быть представлена гиперболическим законом:

$$N = \frac{c}{t_0 - t}.$$

Доказательством этого утверждения является линейная зависимость обратной N величины от времени (рис. 56). Точки на этой

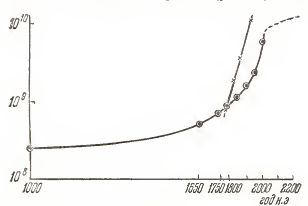


Рис. 55. Рост населения земного шара за последнюю тысячу лет.

кривой (вернее, прямой) пропорциональны значениям $t_0 - t$, полученным для разных дат (величины $1/N$ можно получить из кривой на рис. 55). Из рис. 56 с большой точностью получается величина $t_0 = 2030 \pm 5$ лет. Если бы рост населения следовал гиперболическому закону и дальше, то около 2030 г. население земного шара стало бы бесконечно большим. Этот вывод, очевидно, абсурден, что следует хотя бы из того, что в 2000 г. население Земли будет «всего лишь» 6,2 млрд. и, в силу ограниченности биологических возможностей человека, через 30 лет после этого оно никак не может стать бесконечно большим...

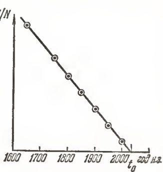


Рис. 56. Доказательство гиперболического характера закона увеличения народонаселения Земли.

Какой же отсюда следует вывод? Только один: в течение ближайших нескольких десятилетий сам закон роста народонаселения должен претерпеть радикальные изменения.

Естественным законом увеличения народонаселения является экспоненциальный закон. Последний получается из простого условия, что ежегодный прирост народонаселения пропорционален

величине народонаселения. Математически это запишется так:

$$\frac{dN}{dt} = \alpha N.$$

Нынешний гиперболический закон увеличения народонаселения всего земного шара (который действует по крайней мере несколько сот лет) обусловлен не столько биологическими, сколько социальными факторами. Согласно этому закону, ежегодный прирост народонаселения определяется уравнением

$$\frac{dN}{dt} = \beta N^2.$$

Преодолев социальные кризисы, человечество может обеспечить «нормальный» экспоненциальный рост народонаселения, разумным образом подобрав величину α. При таком законе к а т а с т р о ф и ч е с к о е перенаселение (следующее из гиперболического закона) человечеству угрожать никогда не будет. На рис. 55 пунктирная линия изображает характер увеличения народонаселения Земли в будущем.

Как же обстоит дело с «законом» Мальтуса? Опережает развитие производительных сил человечества рост народонаселения или отстает от него? Хорошим индексом производительных сил человечества является производство энергии всех видов. Соответствующие данные, охватывающие период от конца XVIII в. до наших дней, содержатся, например, в книге Роуза «Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции». Оказывается, что рост производства энергии за это время очень хорошо следовал экспоненциальному закону, который представлен на том же рис. 55. В масштабе этого рисунка годичное производство энергии на душу населения земного шара определяется р а з н о с т ь ю кривых роста производства энергии и роста народонаселения. Мы видим, что эта разность, вплоть до настоящего времени, все время р о с л а. Так как производство энергии на душу населения есть хороший показатель среднего уровня благосостояния, кривые, изображенные на рис. 55, являются математическим опровержением «закона» Мальтуса. Разумеется, если экстраполировать рост населения земного шара по ныне действующему гиперболическому закону, в начале XXI в. обе кривые пересекутся. Но выше было показано, что такая экстраполяция является совершенно незаконной. С неизбежностью гиперболический закон роста народонаселения к тому времени будет заменен на экспоненциальный. Такая ситуация уже давно (около 150 лет) существует в экономически развитых странах. Однако увеличение населения всего земного шара в течение последнего периода определялось в основном слаборазвитыми странами. В коммунистическом обществе будущего, построенном на разумных началах, экспонента, описывающая развитие производительных сил, всегда будет к р у ч е, чем экспонента, описывающая рост народонаселения. Это обеспе-

чит неуклонный рост материального благосостояния каждого члена общества.

Коль скоро человечество преодолеет нынешний кризис, вызванный наличием на нашей планете двух антагонистических систем — социализма и капитализма, единственным фактором, лимитирующим неуклонный экспоненциальный рост производительных сил общества, будет ограниченность материальных ресурсов, которая обусловлена конечными (хотя и относительно большими) размерами нашей планеты. То, что этот фактор может стать существенным довольно скоро, мы покажем на следующем простом примере.

В наши дни человечество ежегодно производит энергию, соответствующую производству ~ 5 млрд. *т* антрацита. Ежесекундное производство составляет около $6 \cdot 10^{19}$ *эрг*, причем каждые 20 лет эта величина удваивается (см. соответствующую кривую на рис. 55). Эта тенденция довольно устойчива и держится уже около 200 лет. При таких темпах через 200 лет производство энергии вырастет в тысячу раз и достигнет $3 \cdot 10^{22}$ *эрг/сек*. Вполне вероятно, что это наступит даже раньше, так как ресурсы угля и нефти сравнительно невелики и в ближайшие десятилетия следует ожидать революции в энергетике, связанной с массовым производством ядерной энергии. $3 \cdot 10^{22}$ *эрг/сек* составляют уже около 1% потока солнечной энергии, непрерывно падающей на Землю. Дальнейшее увеличение производства энергии с неизбежностью повлечет за собой изменение теплового режима Земли, что может привести к весьма неприятным последствиям. Разумеется, до этого начнется широкое использование солнечной энергии, но здесь есть предел: вероятнее всего, можно будет использовать не более 10% от всего потока энергии излучения Солнца.

Так или иначе, меньше чем через 300 лет вопрос будет стоять исключительно остро. Некоторые зарубежные авторы считают, что придется строжайше запретить дальнейшее развитие и застабилизировать энергетику. Вряд ли, однако, это будет возможно. Скорее всего, мощные энергетические системы будут вынесены в космическое пространство. Этот неизбежный и закономерный процесс и был в свое время предсказан К. Э. Циолковским. Подробнее об этом речь будет идти в следующей главе.

Неоднократно отмечалось, что технологическое развитие нашей цивилизации за последние сотни лет носит катастрофически быстрый, почти взрывной характер. Наглядной иллюстрацией к сказанному является табл. 8, составленная известным английским ученым и писателем-фантастом Кларком.

Левая половина таблицы дает краткую хронологическую сводку основных технических достижений человечества в различных областях его деятельности с 1800 г. и до наших дней. Правая половина этой таблицы дает соответствующий прогноз на довольно близкое будущее. Сама по себе попытка построить такую таблицу является в такой же степени смелой, как и увлекательной. Конечно, можно не соглашаться с Кларком по поводу отдельных деталей

ПРОШЛОЕ					
Год	Транспорт	Связь, информация	Технология	Биология, химия	Физика
1800			Паровой двигатель	Неорганическая химия Синтез мочевины	Атомная теория
	Локомотив				
		Телеграф			
	Пароход				
1850				Органическая химия	Спектроскопия
		Телефон	Механические станки		Сохранение энергии
	Автомобиль	Фонограф	Электричество	Красители	Электромагнетизм
1900			Дизельные двигатели		Рентгеновы лучи
	Самолет		Газолиновые двигатели	Генетика	Электрон
		Вакуумная трубка	Массовое производство	Витамины	Радиоактивность Специальная теория относительности
1910		Радио		Пластики	Изотопы
1920				Хромосомы	Общая теория относительности
				Гены	Строение атома
					Волновая механика
1930		Телевидение		Язык пчел Гормоны	Нейтроны
1940	Ракеты	Радиолокация			Деление урана
	Вертолет	Магнитная запись			
		Электроника			Ускорители
		Электронно-вычислительные машины	Магний из моря	Антибиотики	
		Кибернетика	Атомная энергия	Кремний	
					Радиоастрономия
1950		Транзисторы	Автоматика, водородная бомба	Успокаивающие средства	МГГ
	Спутники	Мазер Лазер			Несохранение четности
1960	Космические корабли			Структура белка	
					МГСС

ЛИЦА 8

БУДУЩЕЕ					
Год	Транспорт	Связь, информация	Технология	Биология, химия	Физика
1970	Космическая лаборатория, посадка на Луну		Электрические аккумуляторы	Китовый язык	
		Машинный перевод			
	Ядерная ракета				
1980	Посадка на планеты				Гравитационные волны
		Персональное радио		Экзобиология, искусственный организм	
			Термоядерный синтез		
1990					
		Искусственный разум	Передача энергии по радио	Увеличение восприятия	Внутриядерная структура
2000	Колонизация планет	Всемирная библиотека	Освоение моря		
2010	Путешествие к центру Земли	Телепатические устройства	Контроль погоды		
		Логический язык		Контроль наследственности	Ядерный катализ
2020	Межзвездный зонд				
		Робот	Космическая геология		
2030		Контакт с внеземными цивилизациями		Биоинженерия	
				Разумные животные	
2040			Превращения	Обесчувствление	
2050	Контроль над гравитацией				
		Запасная память			
			Планетная инженерия		
2060					Разрушение пространства — времени
				Искусственная жизнь	
2070	Околосветовые скорости		Контроль над климатом		
2080	Межзвездный полет				
2090	Передача материалов	Мировой мозг	Астроинженерия	Бессмертие	
2100	Встреча с инопланетными разумными существами				

левой половины этой таблицы. Так, например, трудно согласиться с тем, что Кларк придает «одинаковый» вес технологии извлечения магния из морской воды (кстати сказать, пока еще далекой от совершенства) и открытию эффективных методов получения атомной энергии. По нашему мнению, нельзя ставить также «на одну доску» открытие «языка» пчел и антибиотиков. Последнее для прогресса человечества имело, конечно, неизмеримо большее значение. В основном же, на наш взгляд, левая половина таблицы Кларка неплохо отражает основные вехи технологического развития человечества за последние полтора — два столетия.

Что же можно сказать о правой половине таблицы Кларка? Хотя «грядущие годы таятся во мгле», перспективы, открывающиеся перед человечеством на протяжении ближайших 13 десятилетий, невольно поражают. Конечно, эта часть таблица Кларка является весьма спорной, отдельные предсказанные открытия не обязательно будут совпадать с соответствующими датами. Забавно, например, что, согласно Кларку, легче колонизировать планеты, чем научиться управлять погодой... Что поделаешь — может быть, он и прав. Любопытно отметить, что Кларк почти точно предсказал время высадки астронавтов на Луне.

Если верить этой таблице, радиоконтакт с внеземными цивилизациями будет установлен между 2030 и 2040 гг. Иными словами, дети наших молодых читателей доживут до этого времени. Что же, им можно только позавидовать...

С нашей точки зрения, очень трудно предвидеть фундаментальные открытия в области физики. Весьма туманным, например, представляется «разрушение пространства — времени», планируемое через столетие... Автор этой книги также вряд ли согласится с тем, что около 2100 г. состоится волнующая встреча с разумными существами, обитающими на других планетных системах. Вопрос сводится к тому, кто кого найдет? Если они нас, то это, очевидно, может произойти когда угодно — либо через 10 лет, либо через тысячелетия. Некоторые оптимисты считают, что такая встреча уже состоялась, причем в историческое время (см. предыдущую главу). Если же как «активный фактор» выступят земляне, то срок такой встречи будет зависеть не столько от уровня нашего технологического развития, сколько от удаленности от нас ближайших планетных систем, населенных разумными существами. Если Кларк считает, что в 2080 г. будет запущен первый звездолет, а в 2100 г. состоится встреча с разумными аборигенами других планет, то это означает, что последние удалены от нас на расстояние, не превышающее 20 световых лет. Тем самым он становится на ту весьма оптимистическую точку зрения, что практически каждая планетная система населена разумными существами — нашими современниками.

В гл. 21 и 22 были приведены, на наш взгляд, достаточно серьезные аргументы против такой оптимистической концепции. Скорее всего, ближайшие планетные системы, населенные разумными су-

ществами, удалены от нас на расстояния, превышающие многие сотни световых лет. Это объективно существующее обстоятельство, конечно, значительно удалит дату встречи с нашими космическими братьями по разуму.

Волнующим является вопрос о принципиальной возможности бессмертия для каждого индивидуума человеческого общества. В отличие от Кларка, мы понимаем под этим не способность данного индивидуума жить вечно (что явно бессмысленно), а существенное продление его жизни, скажем, в десятки и даже сотни раз. Такая перспектива, особенно в связи с возможностью создания искусственных разумных существ, нам представляется вполне реальной. Об этом, в частности, речь будет идти в последней главе нашей книги. Здесь мы только заметим, что существенное увеличение долголетия людей не отразится сколько-нибудь серьезным образом на темпах роста народонаселения. Последние определяются в основном рождаемостью. С другой стороны, значительный процент мафусаилов в обществе будущего поставит ряд своеобразных проблем. На некоторые из них в свое время обратил внимание Карел Чапек (см. его «Средство Макропулоса»).

В целом таблица Кларка при ее внимательном изучении производит сильное впечатление. Из нее непосредственно, например, следует, что к 2100 г. возможности человечества существенно перерастут скромные земные ресурсы. Очень похоже, что между XXII и XXIII вв. человечество вступит в качественно новый период своего развития, связанный с широким выходом в космос и перестройкой последнего. В таблице Кларка нет прогнозов на этот период развития человечества. Мы попытаемся это сделать в двух следующих главах нашей книги.

25

Разумная жизнь как космический фактор

Уже неоднократно в этой книге шла речь об одной важнейшей тенденции развития разумной жизни — ее активном воздействии на космос. Так, деятельность человека изменила такую существенную характеристику Земли, как космического тела, какой является радиоизлучение планеты. Уже сейчас человек начинает менять «генеральный план» Солнечной системы. Недалеко то время, когда у Меркурия, так же, как у Венеры, появятся искусственные спутники. А ведь естественных спутников достаточных размеров у этих планет не было в течение миллиардов лет! Вокруг Земли по самым различным орбитам теперь движутся многие сотни сделанных руками людей спутников. Человек умеет сейчас вызвать такие грандиозные явления природы космического характера, как полярные сияния и магнитные бури. Для этого достаточно взорвать водородную бомбу высоко над поверхностью Земли. К сожалению, поразительная мощность человеческого разума далеко не всегда используется на благо человечества. И как раз ядерные взрывы на больших высотах являются хорошим тому примером...

Но ведь мы наблюдаем только самое начало вступления человечества в космическую эру. Ведь прошло только двадцать лет после события, возвестившего о наступлении этой эры. Что же будет дальше?

Очень трудно сейчас даже представить, какие изменения сможет внести человек в Солнечную систему. Недавно, например, Саган предложил радикальную идею «переделки» атмосферы Венеры. Для этого нужно забросить в эту атмосферу некоторое количество одного из видов водоросли хлореллы. Бурно размножаясь в венерианской атмосфере, хлорелла довольно быстро разложит имеющиеся там в большом обилии молекулы CO_2. В результате жизнедеятельности этих водорослей атмосфера Венеры начнет обогащаться кислородом. Изменение химического состава атмосферы повлечет за собой значительное уменьшение «парникового эффекта», отчего температу-

ра поверхности Венеры понизится. В конце концов, «негостеприимная» планета станет пригодной для обитания *)...

Но почему, собственно говоря, мы должны ограничивать деятельность человечества Солнечной системой? И невольно возникает вопрос: не приведет ли в будущем (пусть далеком) деятельность человека к таким радикальным изменениям в Солнечной системе, что они могут быть наблюдаемы со звездных расстояний? В гл. 10 было показано, что никакими из известных современной астрономии методов нельзя обнаружить наличия планет типа Земли даже у ближайших к нам звезд. Но не может ли деятельность разумных существ достигнуть такого масштаба, что этот вывод станет уже неверным? Если это так, то открывается увлекательная возможность по некоторым наблюдаемым характеристикам какой-нибудь звезды сделать вывод, что около нее есть планета, населенная высокоразвитыми разумными существами.

Идеи о грядущей перестройке человеком Солнечной системы неоднократно высказывал К. Э. Циолковский. Например, в книге «Грезы о Земле и небе», изданной в 1895 г., он обращает внимание на несуразность такого положения, когда Земля «перехватывает» только одну двухмиллиардную часть потока солнечного излучения. Он считал, что рано или поздно человечество должно будет овладеть «всем солнечным теплом и светом» и начать расселяться в просторах Солнечной системы. Этот длительный процесс «колонизации» всего околосолнечного пространства человеком, по мысли Циолковского, должен состоять из нескольких этапов. Первый этап — преобразование пояса астероидов. В «Грезах о Земле и небе» разумные существа управляют движением малых планет так, «как мы управляем лошадьми». Энергия, необходимая для поддержания жизни людей на преобразованных астероидах, извлекается с помощью «Солнечных моторов». 70 лет назад гений Циолковского предсказал появление солнечных батарей — основы энергетики бортовой аппаратуры современных космических ракет!

Преобразованные деятельностью человечества астероиды образуют, по Циолковскому, «цепь эфирных городов». Для строительства этих «городов» строительный материал берется вначале из астероидов, «масса которых разбирается до дна». Из этого материала люди будут «лепить» искусственные космические тела с наиболее выгодной формой поверхности. Затем, когда материал астероидов будет исчерпан, в «дело» пойдет Луна (на перестройку Луны Циолковский «кладет» несколько сотен лет).

Наступит очередь Земли, а затем больших планет. По Циолковскому, процесс преобразования околосолнечного пространства займет сотни тысяч и даже миллионы лет. Перестроенная Солнечная

---

*) Забавно, что сразу же появились возражения против этого остроумного проекта. Так, например, некоторые авторы считают вообще недопустимым «загрязнение» Венеры земными формами жизни... Это «возражение» применительно к Венере представляется смешным, однако вопрос о тщательной стерилизации космических кораблей достаточно серьезен.

система сможет обеспечить теплом и светом жизнь «$3 \cdot 10^{23}$ существ, подобных человеку... Это число в $15 \cdot 10^{13}$ раз больше числа жителей на земном шаре, полагая их равным $2 \cdot 10^{9}$...».

Циолковский был глубоко убежден в ничем не ограниченных возможностях человеческого разума. Так, в книге «Воля Вселенной. Неизвестные разумные силы», изданной в Калуге в 1928 г., он написал следующие вдохновенные строки: «... Что могущественней разума? Ему — власть, сила и господство над всем Космосом.



Рис. 57. Советский космонавт А. А. Леонов в открытом космическом пространстве.

Последний сам рождает в себе силу, которая им управляет. Она могущественнее всех остальных сил природы...». Это подлинный гимн мощи человеческого разума!

Гениальные и дерзновенные мысли К. Э. Циолковского в начале нашего века казались тем немногим его современникам, которые о них знали, смешным чудачеством провинциального школьного учителя. Как изменились времена! Ведь не так уж давно потрясенный мир, затаив дыхание, смотрел по телевидению первый выход человека — советского космонавата А. А. Леонова — в свободное космическое пространство (рис. 57). Со всей очевидностью была продемонстрирована способность человека работать в меж-

планетном пространстве. А достижения экипажей американских «Аполлонов», проделавших большую работу на поверхности Луны! Это все первая материализация грез Циолковского о перестройке Солнечной системы волей, руками человека. Насколько далеко Циолковский смотрел вперед, видно хотя бы из того, что в 1960 г. его основные идеи, которые мы сформулировали, были, по существу, повторены крупным английским физиком-теоретиком Дайсоном, который, вероятно, не знал ничего о книге Циолковского. Конечно, работа Дайсона написана на основе достижений физики второй половины XX столетия, между тем как высказывания К. Э. Циолковского не имели под собой такого прочного фундамента. Тем более достойна удивления та прозорливость, с которой основоположник астронавтики сумел правильно оценить существенную тенденцию в развитии разумной жизни на нашей планете — необходимость ее экспансии в Космос.

Мы сейчас более подробно остановимся на работе Дайсона, потому что она содержит попытку к о л и ч е с т в е н н о г о анализа проблемы перестройки будущим человечеством Солнечной системы. Прежде всего, исследователь обращает внимание на поразительно высокие темпы научного и технического развития, характерного для общества разумных существ в «технологическую эру». «Шкала времени» такого развития очень коротка по сравнению с астрономическими и геологическими интервалами времени. В гл. 19 и особенно 25 мы уже подчеркивали это применительно к прогрессу радиофизики за последние полвека.

Однако имеется один важный материальный фактор, ограничивающий в конечном итоге научное и техническое развитие общества. Дело в том, что ресурсы вещества и энергии, необходимые для такого развития, не являются неисчерпаемыми. Об этом уже шла речь в предыдущей главе. В настоящее время ресурсы вещества, которые используются человечеством в его практической деятельности, ограничиваются биосферой Земли, масса которой порядка $5 \cdot 10^{19}$ *г*, т. е. около одной стомиллионной массы земного шара. Количество энергии, ежесекундно потребляемой человечеством, приблизительно равно $6 \cdot 10^{19}$ *эрг* (см. предыдущую главу). Не приходится сомневаться, что ресурсы каменного угля, нефти и других горючих ископаемых будут исчерпаны в течение ближайших нескольких сот лет.

Особенно остро встанет вопрос о ресурсах вещества и энергии, если учесть перспективы технологического развития общества. Если даже предположить, что среднегодовой темп роста производства материальных ценностей и энергии составит $^1/_3$ % (это очень малая величина, если мы вспомним, что в нашей стране устойчивый прирост составляет не меньше 10% в год), то удвоение объема производства наступит через 100 лет*). Даже при таких ничтожно

*) На самом деле за последние два столетия удвоение производства энергии наступало приблизительно каждые 20 лет (см. предыдущую главу).

малых темпах развития производства через 1000 лет его объем вырастет в 20 тыс. раз, а через 2500 лет — в 10 млрд. раз! Это означает, например, что производство энергии через 2500 лет составит $3 \cdot 10^{29}$ *эрг/сек*, что составляет приблизительно 0,0001 часть мощности солнечного излучения. Следовательно, эта величина имеет уже космический порядок. Вполне понятен поэтому вопрос: не исчерпаются ли ресурсы энергии еще до того, как будет достигнут этот уровень производства?

Чтобы проанализировать этот вопрос, рассмотрим все ресурсы энергии, которыми располагает человечество. Прежде всего, рассмотрим ресурсы ядерной энергии. Будем оптимистами и примем, что человечество осуществит управляемые термоядерные реакции синтеза.

Полное количество водорода в гидросфере Земли составляет приблизительно $3 \cdot 10^{23}$ *г*, а дейтерия (основное ядерное горючее при реакциях синтеза) — $5 \cdot 10^{19}$ *г*. Если весь дейтерий «сжечь» в будущих термоядерных установках, то будет получено энергии около $5 \cdot 10^{38}$ *эрг*. Этого количества энергии через 2500 лет (принимая прирост производства $^1/_3$% в год) хватит всего лишь на 50 лет. Даже если к тому времени люди научатся осуществлять управляемые термоядерные реакции на обычном водороде (а не на тяжелом), то при «сжигании» 10% мирового океана (больше «сжигать», по-видимому, нецелесообразно) энергии хватит на 1—2 тыс. лет.

Другой источник энергии на Земле — прямое использование солнечного излучения. Ежесекундно на Землю падает $\sim 2 \cdot 10^{24}$ *эрг* солнечной энергии в форме света и тепла. Это почти в 100 тыс. раз больше, чем современное производство всех видов энергии на Земле, но все же в 100 тыс. раз меньше предполагаемой «нормы» потребления энергии через 2500 лет. Таким образом, и этого ресурса энергии, которым потенциально располагает человечество на Земле, явно недостаточно для обеспечения устойчивого роста производства в $^1/_3$ % в год. Итак, мы пришли к выводу, что энергетические ресурсы Земли недостаточны для развития общества разумных существ в сколько-нибудь заметном темпе на протяжении нескольких тысяч лет.

Прежде чем продолжить дальше наш анализ материальных ресурсов, которыми располагает человечество в своем развитии, сделаем небольшое отступление. Придирчивые читатели могут упрекнуть нас в том, что приведенные расчеты, по существу, являются якобы проповедью мальтузианства. Однако такое утверждение совершенно ошибочно. В самом деле, Мальтус утверждал, что темп роста народонаселения опережает темп развития производительных сил, что обрекает человечество на прогрессивно ухудшающиеся условия материального существования. В качестве панацеи от этой грозящей человечеству катастрофы Мальтус проповедовал сокращение рождаемости у неимущих слоев населения, т. е. у трудового народа. Ошибочность «теории» Мальтуса, на наш взгляд, достаточно была продемонстрирована в предыдущей главе.

То, что приведенные соображения ничего общего с мальтузианством не имеют, видно хотя бы из того, что мы здесь вообще ничего не говорили о темпах роста народонаселения. Речь шла только о возможностях роста производительных сил общества. Тот факт, что эти возможности ограничены материальными и энергетическими ресурсами нашей планеты, представляется, конечно, вполне естественным.

Можно иначе поставить вопрос: откуда вообще следует, что в будущем должен быть сколько-нибудь заметный темп развития производительных сил? Какие, собственно говоря, имеются основания полагать, что прогресс человечества неразрывно связан с ростом производительных сил? Не может ли развитие пойти по линии только качественных изменений? По этому вопросу на Бюраканском симпозиуме состоялась интересная дискуссия — см. гл. 22. Эти проблемы являются, прежде всего, философскими. Естественно, что их анализировать должны специалисты-философы. Однако автор не представляет развития общества без развития производительных сил, как качественного, так и количественного. По нашему мнению, прекращение роста производительных сил должно с неизбежностью привести к гибели общества. Заметим, что если общество сознательно приостанавливает развитие производительных сил, оно должно поддерживать их уровень постоянным с очень высокой точностью. Ведь достаточно уменьшения этого уровня на малую долю процента в год, как через несколько тысяч лет «технический потенциал» общества упадет практически до нуля. Следовательно, цивилизация, сознательно решившая держать уровень развития своих производительных сил постоянным, должна, образно выражаясь, «держать баланс на острие ножа».

Не подлежит, однако, сомнению, что неограниченно растущий технологический потенциал развивающегося общества за сравнительно короткое время должен вступить в противоречие с ограниченностью естественных ресурсов Земли. Уже в наше время все большее и большее внимание уделяется угрожающему нарушению равновесия между человечеством и окружающей его экологической средой — биосферой. Проблема загрязнения атмосферы, мирового океана и внутренних водоемов, почвы и растений становится весьма острой. Бесконтрольное стихийное развитие производительных сил может привести человечество к катастрофе.

Если представить себе некий воображаемый космический корабль, экипаж которого улетел в далекий звездный рейс, рассчитанный на многие годы, то каждый поймет, что члены этого экипажа должны с величайшей бережливостью и благоразумием относиться к своим крайне ограниченным ресурсам кислорода, питания, топлива и пр. Сознание мыслящих людей должно все больше и больше проникаться мыслью, что наша Земля — это очень большой космический корабль, который почти пять миллиардов лет путешествует в глубинах крайне «негостеприимной» для жизни Вселенной. Этот «космический корабль» весьма удобно вышел на стационарную,

почти круговую орбиту вокруг устойчиво излучающего желтого карлика и использует его энергию... Но как бы ни были велики ресурсы этого огромного космического корабля — они все же ограничены. И его экипаж (т. е. мы, земляне) должны об этом постоянно помнить.

А между тем, по-видимому, уже сейчас бесконтрольное развитие производительных сил привело к ряду необратимых и весьма неприятных последствий. Мы не будем говорить здесь о вымирании огромного количества видов животных, многие из которых являются важными звеньями в экологической цепи, выкованной Природой за миллиарды лет естественного отбора. Обратим только внимание на одно немаловажное обстоятельство. В гл. 11 мы упомянули, что основным «поставщиком» свободного кислорода в атмосферу Земли является океанский планктон. Все же несколько десятков процентов кислорода поставляется в атмосферу нашей планеты благодаря жизнедеятельности растений в тропических лесах. Сейчас, в конце XX столетия в связи с хищнической вырубкой практически сведены тропические леса Африки и Южной Азии. Они остались только в бассейне Амазонки и, похоже, через несколько десятилетий будут и там уничтожены. Значит, бездумная деятельность экипажа космического корабля, называемого «Земля», уже теперь привела к нарушению кислородного баланса атмосферы.

Приведем другой пример. Как уже неоднократно упоминалось выше, сейчас ежегодно добывается топливо, соответствующее примерно 5 млрд. тонн каменного угля. Это топливо сжигается, т. е. соединяется с атмосферным кислородом. В результате получается углекислый газ плюс энергия, которая и утилизируется. Следовательно, этот варварский способ получения энергии сопровождается изъятием из земной атмосферы около 20 миллиардов тонн кислорода ежегодно. Много ли это или мало? Чтобы ответить на этот вопрос, оценим полное количество кислорода в земной атмосфере. Это очень легко сделать. Над каждым квадратным сантиметром земной поверхности имеется около 200 *г* кислорода. Так как поверхность земного шара приблизительно равна 500 миллионов $км^2$ или $5 \cdot 10^{18}$ $см^2$, полное количество кислорода в земной атмосфере около 10^{21} *г* или 10^{15} *т*. Это означает, что для «поддержания» горения добываемого на Земле топлива земной атмосферы хватит на 50 000 лет. Подчеркнем, что на Земле действуют и другие естественные причины, приводящие к связыванию свободного кислорода ее атмосферы. Как оказывается, сжигание топлива сейчас составляет несколько процентов от действия естественных факторов, приводящих к связыванию кислорода земной атмосферы. В итоге существенная часть кислорода свяжется через несколько тысяч лет. Только жизнедеятельность растений непрерывно пополняет эту убыль кислорода из атмосферы. И вот неразумное вмешательство людей в этот миллионами лет устоявшийся кислородный баланс Земли привело к тому, что он нарушается как бы «с двух концов»: уничтожая леса, мы уменьшили «поставку» кислорода в атмосферу по крайней мере

на 10%, а сжигая его с топливом, увеличили скорость его ухода из атмосферы на несколько процентов. Если бы в атмосфере кислорода было сравнительно немного — последствия сказались бы очень скоро. Но так как кислорода в земной атмосфере запасено очень много — последствия скажутся только через несколько тысяч лет — характерное время установления динамического равновесия кислорода в атмосфере. Через этот промежуток времени, благодаря деятельности людей за последние несколько десятилетий, равновесное количество кислорода в земной атмосфере уменьшится примерно на 15—20%.

Но ведь сейчас темп добычи ископаемого горючего и его сжигания продолжает расти! Если так будет продолжаться, то через сотню лет добыча угля и нефти увеличится в несколько десятков раз. А это приведет к катастрофическому уменьшению кислорода в земной атмосфере за какие-нибудь несколько сот лет! Заметим, что мировых ресурсов угля и нефти, особенно еще не разведанных, вполне достаточно для этого самоубийственного дела: не забудем, что каменный уголь — это бывшие растения! Такая «деятельность», с позволения сказать, «разумных» существ приводит к непрерывному увеличению содержания углекислого газа CO_2, что, помимо других вредных последствий, резко нарушает тепловой баланс Земли, о чем речь уже шла раньше.

Приведем теперь другой пример. Недавно было обращено серьезное внимание на угрозу разрушения озонного слоя Земли некоторыми газообразными промышленными отходами. Наиболее опасными разрушителями этого слоя являются молекулы, входящие в разные сорта фреона,— вещества, заполняющего все холодильники. Эти молекулы содержат хлор и фтор. В настоящее время ежегодно около 10 миллионов тонн испарившегося фреона поступает в атмосферу. Там молекулы фреона перемешиваются с ее основными компонентами и заносятся при этом на высоты 20—30 *км*, где жадно вступают в химические соединения с молекулами озона. При последующих реакциях с молекулами кислорода фреон опять восстанавливается и, таким образом, он постепенно накапливается в верхних слоях атмосферы. В настоящее время мировое производство фреона растет примерно на 20% в год. Если в ближайшие годы это безобразие не прекратить, то, как показывают расчеты, через несколько десятилетий толщина озонного слоя в атмосфере начнет ощутимо уменьшаться. Но ведь хорошо известно, что слой озона — это броня, защищающая биосферу от губительных ультрафиолетовых лучей Солнца в диапазоне длин волн 0,29—0,24 микрона. Неразумное и даже самоубийственное поведение человечества вполне можно уподобить поведению сошедшего с ума экипажа космического корабля, буравящего его стенки, что неизбежно приведет к разгерметизации.

Вдумаемся, что происходит: миллиарды лет создавался удивительно тонкий и сложный баланс биосферы Земли. И вот появляется, казалось бы, самый совершенный продукт эволюции биосферы —

человек, называющий себя разумным, и варварски разрушает то, что привело к его появлению и без чего невозможно его дальнейшее развитие и совершенствование. Только принятие самых радикальных мер в течение ближайших 2—3 десятилетий может предотвратить самоубийство человечества. Какие это меры? Прежде всего — революция в энергетике, переход на использование атомной и солнечной энергии. Это избавит человечество от кошмара загрязнения атмосферы и обеднения ее кислородом, но может породить новые проблемы, не менее острые. Но так или иначе, мы всегда должны помнить, что находимся на космическом корабле с конечными ресурсами, с которыми обращаться следует с величайшей осторожностью.

С наступлением эры освоения космоса проблема ресурсов цивилизации в принципе меняется самым радикальным образом.

Вполне естественно, что на определенном, достаточно высоком, этапе развития общества с необходимостью возникнет тенденция использовать ресурсы вещества и энергии, находящиеся вне Земли, но в пределах Солнечной системы. Каковы же эти ресурсы? Если говорить о ресурсах энергии, то, прежде всего, следует иметь в виду излучение Солнца. Ежесекундно оно излучает $4 \cdot 10^{33}$ *эрг*. Что касается ресурсов вещества, то здесь основным источником могут быть массы больших планет. Масса планеты гиганта Юпитера составляет, например, $2 \cdot 10^{30}$ *г*. Чтобы полностью «распылить» массу Юпитера, необходимо затратить энергию порядка 10^{44} *эрг*, что равно энергии, излученной Солнцем за 800 лет.

Наиболее рациональным способом использования массы Юпитера, согласно Дайсону, будет сооружение гигантской сферы радиусом около одной астрономической единицы (т. е. 150 млн. *км*), в центре которой будет находиться Солнце. При этом, как легко можно подсчитать, толщина сферы была бы такой, что над каждым квадратным сантиметром ее поверхности находилось бы около 200 *г* вещества. Оболочка такой толщины вполне могла бы быть обитаемой. Вспомним, что масса атмосферы над каждым квадратным сантиметром земной поверхности близка к 1 *кг*. Человек, как известно, фактически является «двумерным» существом, так как он освоил только п о в е р х н о с т ь земного шара. Поэтому вполне допустимо считать, что человек в перспективе 2,5—3 тыс. лет создаст «искусственную биосферу» на внутренней поверхности «сферы Дайсона». После реализации этого грандиозного проекта человечество сможет использовать в с ю энергию, излучаемую его «материнской звездой» — Солнцем. Необходимые для утилизации солнечной энергии машины могут быть размещены на поверхности сферы Дайсона или где-нибудь внутри ее. Поверхноть этой сферы будет примерно в 1 млрд. раз больше поверхности земного шара. Сообразно с этим население сферы вполне может достигнуть предсказанной 70 лет назад Циолковским величины. ...

Конечно, бессмысленно сейчас входить в детали конструкции сферы Дайсона (например, как она будет вращаться, каким обра-

зом обеспечить, чтобы население сферы не падало на Солнце — дело в том, что сфера не будет гравитационно притягивать находящиеся на ней предметы). Все эти проблемы, сами по себе очень трудные, все же не принципиальны. Дайсон обращает внимание на одно интересное обстоятельство: ряд совершенно независимых величин — массы больших планет, толщина искусственной биосферы, общая энергия солнечного излучения, время существенно технологического развития общества и время, нужное для распыления масс больших планет,— оказывается очень хорошо согласованным. «Поэтому,— заключает Дайсон,— если исключить возможность случайной катастрофы, вполне закономерно ожидать, что разумные существа в конце концов будут вынуждены прибегнуть к подобной форме эксплуатации доступных им ресурсов. Следует ожидать, что в пределах нескольких тысяч лет после вступления в стадию технического развития любой мыслящий вид займет искусственную биосферу, полностью окружающую его материнскую звезду».

До этого пункта исследование Дайсона, по существу, было повторением идеи Циолковского, но, конечно, на уровне науки второй половины XX столетия. Далее, однако, Дайсон делает принципиально новый шаг. Он ставит вопрос, как будет «выглядеть со стороны» цивилизация, распространившаяся по внутренней поверхности сферы, окружающей звезду. Так как излучения «центральной звезды» не пройдут сквозь непрозрачную сферу Дайсона, то в межзвездное пространство будет излучать только наружная поверхность этой сферы. Температура последней должна быть примерно такой же, как и средняя температура Земли, т. е. около 300 °К. При такой температуре, согласно хорошо известным из физики законам излучения нагретых тел, сфера будет испускать преимущественно инфракрасные (тепловые) лучи с длиной волны около 10 *мк*. Полная мощность излучения сферы Дайсона в инфракрасной области спектра должна быть такой же, как и у центральной звезды в «видимой» области. В противном случае излучение звезды внутри сферы «накапливалось» бы, что привело бы к катастрофическому нагреву искусственной биосферы.

Таким образом, инопланетная цивилизация, развивающаяся в описанном направлении, должна «со стороны» наблюдаться как очень мощный источник инфракрасного излучения. Атмосфера Земли прозрачна для излучения с длиной волны от 8 до 12 *мк*. Следовательно, инфракрасное излучение от подобных объектов (если они, конечно, существуют) будет свободно проходить через это «окно прозрачности» в земной атмосфере и вполне может быть наблюдаемо с помощью больших современных телескопов. Чувствительность современной приемной аппаратуры позволяет зарегистрировать такое излучение, если звездная величина «материнской» звезды ярче 8-й, что соответствует расстояниям порядка 100 световых лет (если звезды более или менее похожи на наше Солнце). В ближайшие десятилетия можно ожидать значительного увеличения чувствительности приемной аппаратуры в диапазоне 8—12 *мк*.

Это даст возможность обследовать все объекты до 10—12-й звездной величины. Соответствующие звезды могут быть удалены от нас на расстояния в несколько сотен световых лет. Поэтому Дайсон предлагает для обнаружения инопланетных цивилизаций предпринять систематические поиски «точечных» источников инфракрасного излучения внеземного происхождения.

В принципе возможно, что такое избыточное инфракрасное излучение может быть у некоторых звезд, давно уже наблюдаемых оптическими методами. Это может быть либо в том случае, когда инопланетная цивилизация из-за нехватки «строительного материала» — вещества больших планет — не смогла использовать всю энергию излучения от центральной звезды, либо когда она располагается вокруг одной из звезд кратной системы. Мы знаем, согласно исследованиям Су Шу-хуанга, что жизнь может развиваться и около компонент двойных звезд (см. гл. 11). Как первоочередную задачу Дайсон поэтому считает планомерное обследование ближайших к нам звезд, особенно обладающих «невидимыми» спутниками.

Идея Дайсона примечательна тем, что дает некоторый конкретный пример такого преобразования планетной системы, которое вполне может быть наблюдаемо с межзвездных расстояний. Является ли, однако, сооружение сферы Дайсона единственно возможным путем развития цивилизации, желающей в максимально возможной степени использовать энергетические ресурсы своей планетной системы? По-видимому, нет. Мы сейчас укажем на другой мыслимый источник энергии, может быть даже более эффективный, чем 100%-ное использование энергии излучения центральной звезды. Речь идет о принципиальной возможности использования масс больших планет в качестве ядерного горючего для реакции синтеза. Как известно, большие планеты состоят преимущественно из водорода. При массе Юпитера $2 \cdot 10^{30}$ *г* запас ядерной энергии в нем, которая может быть освобождена при синтезе ядер водорода в ядра гелия, составляет около 10^{49} *эрг*. Это чудовищно большое количество энергии такого же порядка, как и энергия взрыва сверхновой звезды (см. гл. 5). Ядерную энергию можно будет освобождать постепенно, в течение длительного промежутка времени. Если, например, ежесекундно освобождать $4 \cdot 10^{33}$ *эрг* (что равно мощности солнечного излучения), то запаса ядерной энергии Юпитера хватит почти на 300 млн. лет. Этот срок, вероятно, превосходит длительность «шкалы времени» любой развивающейся цивилизации.

Наконец, почему бы не представить, что высокоорганизованная цивилизация может «перестраивать» свою звезду, около которой она когда-то возникла? Например, без «большого ущерба» для ее светимости можно «позаимствовать» у этой звезды несколько процентов ее массы. Право, мы не можем предложить сейчас рецепт, как осуществить такую перестройку. Похоже, однако, что это надо будет делать очень медленно. Во всяком случае, резерв массы порядка $5 \cdot 10^{31}$ *г* (что в 25 раз больше массы Юпитера) развивающаяся высокоразвитая цивилизация может получить именно таким спосо-

бом. Энергетический эквивалент этой водородной массы будет уже $3 \cdot 10^{50}$ *эрг*, а этого может хватить на несколько миллиардов лет. Перестройка звезды может носить и более радикальный характер. Может быть, даже время излучения звезды будет «согласовано» со «шкалой времени» цивилизации. Не излучать же ей «зря», после того как цивилизация прекратит свое существование! Нельзя также исключить, что спектральный состав излучения звезды будет меняться в желательном направлении. Конечно, очень странно представить, что высокоорганизованные разумные существа поступают со своим светилом примерно так же, как туристы с костром...

При разумном использовании этого огромного количества энергии совершенно не будет необходимости сооружать вокруг Солнца сферу. Можно предположить, что, например, половина массы больших планет пойдет на сооружение искусственных планет («эфирных городов», по терминологии Циолковского), причем эти сооружения будут двигаться во всем околосолнечном пространстве. На каждом таком спутнике будут мощные термоядерные установки, в которых «горючим» будет все то же вещество больших планет... В целом эта картина развития цивилизации сходна с той, которую набросал К. Э. Циолковский в «Грезах о Земле и небе». Однако в дополнение к «солнечным моторам» источником энергии в «эфирных городах» будут управляемые термоядерные реакции синтеза.

Владея мощнейшими регулируемыми источниками энергии, высокоорганизованная цивилизация, вышедшая за пределы «материнской планеты», может развить деятельность космического масштаба. Она может несколькими способами возвестить о своем существовании неизвестным инопланетным цивилизациям.

Примеры, которые мы сейчас приведем, могут, конечно, показаться совершенно фантастическими. Весьма вероятно, что они такие и есть. Мы далеки от утверждения, что все описанное ниже д е й с т в и т е л ь н о встречается во Вселенной. Но вероятность того, что это именно так, не равна нулю. Основная задача, которую мы поставили перед собой,— показать неограниченные возможности такой высокоорганизованной формы существования материи, какой является разумная и жизнь.

Цивилизация может изменить спектр своей центральной звезды. Если, например, в атмосферу звезды внести некоторое количество какого-нибудь элемента, которого там не может быть по естественным астрофизическим причинам, в спектре звезды образуется линия поглощения, принадлежащая соответствующему элементу. Расчеты показывают, что, если над каждым квадратным сантиметром звезды будет находиться 10^{12} атомов, образуется линия поглощения вполне наблюдаемой интенсивности. Следовательно, если поверхность звезды равна $5 \cdot 10^{22}$ *см*^{2} (как у Солнца), то такое количество атомов в атмосфере звезды будет $5 \cdot 10^{34}$. Если это тяжелые атомы с массой около $2 \cdot 10^{-22}$ *г*, то масса вещества, которое нужно забросить в атмосферу звезды, будет около 10 млн. *т*. В качестве такого вещества можно воспользоваться искусственным элементом технецием,

имеющим в таблице Менделеева порядковый номер 43. Заметим, что все изотопы технеция радиоактивны, причем период полураспада не превышает $2 \cdot 10^5$ лет. Именно поэтому на Земле технеций не встречается. Кстати сказать, существует небольшое количество звезд редкого спектрального класса S, в спектрах которых наблюдаются слабые линии технеция. Мы, конечно, очень далеки от утверждения, что обнаруженный в атмосферах этих звезд технеций имеет, так сказать, «разумное» происхождение. Очень может быть, что технеций непрерывно образуется в активных областях атмосфер звезд спектрального класса S, хотя строго это еще не доказано.

Следует заметить, что благодаря перемешиванию газов в атмосферах звезд «заброшенный» туда искусственный технеций довольно быстро погрузится в сравнительно глубокие слои, откуда излучение не выходит. Поэтому «подсыпка» должна происходить более или менее периодически. Конечно, тратить 10 млн. *т* весьма ценного вещества на каждую такую «подсыпку» — удовольствие дорогое... Нельзя, однако, исключить возможность того, что для высокоорганизованной цивилизации, владеющей всеми материальными ресурсами своей планетной системы, такая «подсыпка» (которая может содержать в себе кодированную информацию) будет ей «по карману». В конечном итоге в принципе — это один из методов посылки изотропного сигнала на межзвездные расстояния.

Отдаваясь полету безудержной фантазии, мы можем представить и такую картину. Допустим, что некоторая высокоразвитая цивилизация испытывает недостаток в веществе, особенно в тяжелых элементах. Тогда в принципе она может взорвать соседнюю звезду. Этот грандиозный эксперимент мы с полным основанием можем назвать «искусственной сверхновой звездой». Как это (хотя бы в принципе) можно сделать? Лет 15 назад американский астрофизик Бэрбидж выступил с остроумной, хотя и недостаточно обоснованной, гипотезой о «цепной реакции» вспышек сверхновых. Согласно этой гипотезе, в ядрах некоторых галактик звездная плотность может быть в миллионы раз больше, чем в окрестностях Солнца. Средние расстояния между звездами там раз в 100 меньше, чем в наших галактических окрестностях. Если случайно в таком галактическом ядре вспыхнет сверхновая, поток жесткой радиации (преимущественно гамма-лучей) через поверхности соседних звезд будет так велик, что вызовет в наружных слоях этих звезд катастрофическое повышение температуры. Это может послужить причиной ядерного взрыва, который захватит значительную часть массы звезд — «соседок» вспыхнувшей сверхновой. Следовательно, они также вспыхнут, как сверхновые. Таким образом, за какие-нибудь несколько сот лет взорвутся, как сверхновые, многие сотни миллионов звезд, образующих ядро галактики.

Аналогичным способом взрыв звезды может быть осуществлен искусственно. Представим себе, что разумные существа имеют мощные лазеры, работающие в диапазоне гамма-излучений, с длиной

волны, например, 10^{-10} *см*. Тогда при размерах апертуры лазера 10 *м* угол расхождения пучка будет всего лишь две стомиллионные доли секунды дуги. Если звезда, над которой собираются провести этот единственный в своем роде эксперимент, удалена на расстояние 10 световых лет, то диаметр «пятна» от «гамма-прожектора» на ее поверхности будет всего лишь 10 *км*. Согласно гипотезе Бэрбиджа, чтобы стимулировать ядерный взрыв в звезде, надо, чтобы поток гамма-излучения через ее поверхность был приблизительно 10^{10} *эрг/см²·сек*. Чтобы «гамма-прожектор» давал такой поток, мощность установки должна быть порядка 10^{12} *квт*. Это в 1000 раз больше, чем мощность всей энергетики современной цивилизации. Учитывая, однако, темпы и перспективы развития энергетики будущего, мы не должны считать эту мощность непомерно большой для некоторых высокоразвитых инопланетных цивилизаций.

Нужно еще иметь в виду, что высокоразвитая цивилизация может обладать совершенно незвестным нам способом «канализации» жестких радиаций (как фотонных, так и корпускулярных), позволяющим сосредоточить большие мощности в очень узких «игольчатых» пучках. Так как каждая звезда представляет собой огромный потенциальный источник ядерной энергии, такие пучки могут служить как бы «спичками, поджигающими пороховые погреба». Почему бы, далее, не представить, что при помощи системы мощных пучков сверхжесткой радиации можно осуществить контроль над течением ядерных реакций в звездах, то ускоряя, то замедляя их темп? В конце концов регулируемая при помощи такой системы «дистанционного управления» звезда может стать эффективным источником энергии для регулирующей ее цивилизации. А что если связать вспышки сверхновых с проявлением активности некоторых технически высокоразвитых цивилизаций? Не правда ли, забавно считать сверхновые звезды своеобразным «карьером», где «открытым» способом при помощи ядерных взрывов «разрабатываются» полезные для некоторой цивилизации вещества, прежде всего тяжелые элементы ...

Наконец, почему бы не представить, что деятельность разумных, высокоорганизованных существ не может изменить свойства целых звездных систем — галактик? Для того чтобы цивилизация, постепенно «диффундируя», распространилась на всю галактику, постепенно «перестраивая» все встречающиеся на ее пути звезды, нужно не больше чем несколько десятков миллионов лет. Может быть, те удивительные явления, которые наблюдаются в ядрах галактик (в том числе и нашей), связаны с активной деятельностью высокоразвитых цивилизаций? И, наконец (страшно даже подумать, а не то что написать), быть может, причина исключительно мощного радиоизлучения некоторых радиогалактик — деятельность таких форм высокоорганизованной материи, которые даже трудно назвать разумной жизнью *)?

*) Н. С. Кардашев развил эту идею (см. дальше).

Мы можем, наконец, предложить писателям-фантастам довольно любопытный сюжет — война инопланетных цивилизаций за обладание жизненным (по-видимому, космическим) пространством с применением «гамма-лазеров» и прочих средств массового уничтожения, безусловно осужденных и запрещенных некоей общегалактической конвенцией...

Все это, конечно, фантастика, хотя и вполне научная. В войны между инопланетными цивилизациями мы не верим, так как считаем эти цивилизации, прежде всего, разумными. Скорее всего, сверхновые звезды, даже принадлежащие к I типу, вспыхивают по каким-то естественным причинам, которые нам пока далеко еще не ясны. Все же приведенные примеры (число которых можно было бы умножить) имеют, на наш взгляд, довольно глубокий смысл. Они подчеркивают неограниченные возможности развития и проявления разумной жизни во Вселенной. И тут мы подходим к серьезному вопросу: наблюдаем ли мы во Вселенной такие «сверхъестественные» (т. е. не подчиняющиеся законам движения неживой материи) явления?

На этот вопрос пока ответить нельзя. Тем более важно его поставить. Если окажется, что во всей наблюдаемой нами Вселенной никаких «чудес», могущих быть связанными с проявлениями разумной жизни в космическом масштабе, нет, это с большой вероятностью может означать, что нигде разумная жизнь не достигает достаточно высокого уровня развития. А между тем не видно причин, почему бы, неограниченно развиваясь, разумная жизнь не стала проявлять себя в общегалактическом масштабе.

Не станет ли это серьезным аргументом в пользу невеселого утверждения, что мы почти одиноки во Вселенной? Будем, однако, надеяться, что это не так. Во всяком случае, проблема «космических чудес» должна привлечь к себе самое серьезное внимание исследователей.

Как пример такого ожидаемого «чуда» мы рассмотрим сейчас интересную идею Н. С. Кардашева. Предположим, что высокоразвитая цивилизация, освоившая все межпланетное пространство (либо путем построения сферы Дайсона, либо путем сооружения огромного количества «эфирных городов», снабжаемых термоядерной энергией с использованием вещества больших планет), решила посылать сигналы связи к неизвестным ей инопланетным цивилизациям. Как мы уже подчеркивали в гл. 22, наиболее эффективным для этой цели был бы изотропный сигнал. В исследовании Дайсона предполагалось, что таким сигналом может быть инфракрасное излучение сферы, окружающей центральную звезду. Однако такой способ сигнализации далеко не самый экономичный. При данной мощности передатчика для посылки сигналов наиболее целесообразно использовать радиоволны. Они существенно увеличивают дальность связи по сравнению с инфракрасным излучением сферы Дайсона. В то же время они легко поддаются модуляции, что открывает почти неограниченные возможности передачи информации.

Пусть цивилизация некоторую часть своих энергетических ресурсов решила использовать для установления контактов с инопланетными разумными существами. Предположим, что передаваемое излучение является почти изотропным. Заметим, что технически создать такой очень мощный и в то же время достаточно изотропный излучатель не просто. По-видимому, естественнее всего распределить огромное количество сравнительно небольших излучателей по всей планетной системе.

Н. С. Кардашев, исходя из огромных расстояний, разделяющих инопланетные цивилизации, считает, что радиопередачи должны быть безответны. Такое «альтруистическое» поведение «сверхцивилизации» представляется ему вполне естественным, и с этим нельзя не согласиться. Ведь очень вероятно, что каждая из этих «сверхцивилизаций» в свое время «безвозмездно» получила ценнейшую информацию от своих более развитых космических соседей и тем самым взяла на себя, так сказать, «моральные обязательства» перед своими «младшими братьями» во Вселенной...

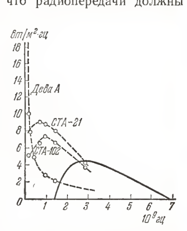


Рис. 58. Ожидаемый спектр космического искусственного радиосигнала согласно Н. С. Кардашеву (сплошная линия) и радиоспектры некоторых известных космических источников радиоизлучения (штриховые линии).

Кардашев далее считает, что сигнал должен быть ш и р о к о п о л о с н ы м и сразу же нести в себе огромное количество информации. Спектральная характеристика сигнала должна быть близка к спектральной характеристике космических и квантовых шумов (см. рис. 45), взятых с обратном знаком. При этом условии обеспечивается максимальная информативность сигнала. На рис. 58 приведен вероятный спектр такого искусственного источника. В соответствии с тем, что спектр естественных шумов имеет глубокий минимум в области дециметровых и сантиметровых волн, основная энергия искусственного сигнала должна быть именно в этом диапазоне.

Характерной особенностью спектра искусственного радиосигнала должно быть, согласно Кардашеву, линейное уменьшение спектральной плотности потока с ростом частоты в области высоких частот. Далее Кардашев полагает, что указанием на искусственный характер сигнала может служить его спектр. Например, около 21 *см* там может быть необычной (например, «прямоугольной») формы линия поглощения.

По уровню своего технологического развития цивилизации можно разделить на три типа.

I. Технологический уровень близок к тому, который уже сейчас достигнут на Земле. Ежесекундное потребление энергии порядка 10^{20} *эрг*.

II. Цивилизация овладела энергией, излучаемой своей звездой (скажем, построила сферу Дайсона, см. выше). Ежесекундное потребление энергии около $4 \cdot 10^{33}$ *эрг*.

III. Цивилизация овладела энергией в масштабе всей своей галактики. Потребление энергии порядка $4 \cdot 10^{44}$ *эрг*.

Простые расчеты, выполненные Кардашевым, показывают, что при достигнутом в наши дни уровне радиотехники изотропные сигналы от цивилизации II типа могут быть обнаружены даже тогда, когда она удалена от нас на расстояние около 10 млн. световых лет. В этом случае цивилизация такого типа может находиться в любом месте местного скопления галактик (см. гл. 1). При этом, однако, ширина полосы приема не должна превышать нескольких сотен килогерц, что делает сигнал сравнительно малоинформативным (так как за секунду можно при этом передать только несколько сот тысяч двоичных единиц информации, см. гл. 22). Что касается цивилизации III типа, то даже в том случае, когда расстояние до нее около 10 млрд. световых лет,— величина, превосходящая расстояния до самых удаленных из известных объектов в Метагалактике, сигнал от нее будет обнаружен и притом в достаточно широкой полосе частот (десятки тысяч мегагерц).

Выше, в порядке чистой фантазии, мы говорили о том, что некоторые радиогалактики, вообще говоря, могут иметь искусственное происхождение. Н. С. Кардашев идет дальше и считает вполне вероятным, что среди известных радиогалактик могут быть цивилизации III типа. Задача состоит в том, чтобы выработать надежные критерии, по которым можно различить искусственные радиосигналы от естественных. По мысли Кардашева, критериями искусственности могут служить:

1) специфический спектр радиоизлучения (линейное уменьшение спектральной плотности потока с ростом частоты);

2) очень маленькие угловые размеры (по крайней мере для сверхцивилизаций II типа). Можно ожидать, что эти угловые размеры должны быть порядка угловых размеров планетных систем, удаленных на сотни и тысячи световых лет, т. е. 0",01—0",001;

3) возможная поляризация по кругу, которая воспрепятствует искажению информации благодаря вращению плоскости поляризации в межзвездной среде (эффект Фарадея, см. гл. 3);

4) переменность во времени;

5) наконец, некоторые бросающиеся в глаза особенности в спектре, например «вырез» прямоугольной полосы около длины волны 21 *см*, о чем уже говорилось выше.

Только систематическое исследование всех источников, заподозренных в «искусственности», может привести к успеху.

Если сверхцивилизация II типа желает, например, отправить сигнал к туманности Андромеды, она может использовать значи-

тельно меньшую мощность. Угловые размеры этой обширной звездной системы составляют около 2°. Поэтому целесообразно использовать систему передающих антенн с угловыми размерами «главных лепестков» около 2°. Для такой направленной антенны выигрыш в мощности (по сравнению с изотропным излучателем) будет около 10 тыс.

Для более удаленных галактик можно применить еще более направленные передающие антенны.

В случае межгалактической радиосвязи имеется одна существенная особенность, резко отличающая ее от межзвездной. Ведь сигнал посылается сразу нескольким сотням миллиардов звезд. Следовательно, если хотя бы вокруг одной из этих звезд имеется высокоразвитая цивилизация, он будет обнаружен. В действительности таких цивилизаций в «зондируемой» галактике может быть много. Следовательно, посылая направленные экстрагалактические сигналы, передающая их цивилизация действует поэтому «наверняка». Между тем при посылке направленного сигнала в сторону какой-нибудь звезды имеется ничтожно малая вероятность, что там есть цивилизация или даже вообще жизнь.

Имеется еще один принципиально возможный метод обнаружения сверхцивилизаций II и III типа с огромных расстояний. Речь идет о получении их радиоизображений с помощью космических интерферометров. Об изготовлении таких интерферометров, как ближайшей перспективе использования космического пространства для нужд науки, уже шла речь в гл. 18. Цивилизация II типа должна иметь характерный размер порядка 1 астрономической единицы или 10^{13} *см*. Если база космического интерферометра порядка расстояния от Земли до Луны, т. е. $d \sim 4 \cdot 10^{10}$ *см*, а длина волны, на которой ведутся наблюдения, равна ~ 1 *см*, то разрешающая способность интерферометра $\frac{\lambda}{d} \sim 2{,}5 \cdot 10^{-11}$ *рад* или $5 \cdot 10^{-6}$ сек. дуги. С другой стороны, угловые размеры цивилизации II типа, если она находится даже на противоположном конце Галактики, будут $\sim 3 \cdot 10^{-10}$ *рад*. Это означает, что «лунный» интерферометр позволит получить хотя и грубое, но все же достаточно надежное изображение цивилизации II типа, если, конечно, она посылает изотропные радиосигналы. При такой ситуации передатчики могут быть расположены каким-либо причудливым, явно искусственно выглядящим способом (например, в виде двух параллельных или перпендикулярных линий, системы концентрических окружностей и пр.).

Если длина базиса космического интерферометра существенно больше, например порядка одной астрономической единицы, то теоретическая разрешающая способность его будет еще выше, что-нибудь около 10^{-8} сек. дуги. Заметим, что, вообще говоря, по причине всевозможных эффектов рассеяния (например, в межзвездной среде) теоретическая разрешающая способность может быть не достигнута. Например, на волнах 20—30 *см* предельная разрешающая

способность, определяемая рассеянием в межзвездной среде, будет около 10^{-4} сек. дуги. Однако на волнах более коротких, чем 1 *см*, влияние рассеяния в межзвездной среде будет незначительно и при базах порядка 1 астрономической единицы разрешающая способность будет близка к теоретической, т. е. при $\lambda \sim 1$ *см* составит 10^{-8} сек. дуги. При такой чудовищной разрешающей способности можно будет получить изображение любой, посылающей радиосигналы, цивилизации II типа, если она находится в какой-нибудь галактике в пределах нескольких десятков мегапарсек. Например, любая такая цивилизация, находящаяся в пределах скопления галактик в Деве (в состав которого входит, в частности, наша Галактика, см. гл. 7), может быть таким образом обнаружена и исследована.

В связи с вопросом о цивилизациях II типа остановимся на следующем основном моменте: подтверждают ли современные радиоастрономические наблюдения возможность их существования. Известно, что в ближайшей к нам гигантской спиральной галактике М 31 (туманность Андромеды) число звезд даже больше, чем в нашей Галактике. Резонно предположить, что если среди сотен миллиардов звезд М 31 вокруг некоторых имеются цивилизации II типа, то они «держат в радиолепестке» нашу Галактику в надежде, что вокруг какой-нибудь из ее звезд имеются разумные существа. В таком случае мы наблюдали бы в туманности Андромеды точечный источник радиоизлучения с необычными свойствами. Однако наблюдения показывают, что в М 31 вообще нет изотропно излучающих радиоисточников, мощность которых была бы больше чем $^{1}/_{10}$ мощности галактического источника Кассиопея А. Отсюда следует, что если там и есть сверхцивилизации II типа, то мощность их радиоизлучения в сантиметровом диапазоне, направленного на нашу Галактику, по крайней мере в 1000 раз меньше мощности Солнца.

Верхний предел для мощности радиоизлучения от таких сверхцивилизаций можно еще более уменьшить. Допустим, что в нашей Галактике есть такой объект. Тогда, вместо того чтобы согласно Н. С. Кардашеву посылать изотропный сигнал, они могут применить систему «маяка», луч которого за короткое время совершает полный оборот в плоскости Галактики. Мы наблюдали бы этот феномен как некий пульсар с совершенно удивительными свойствами (например, закономерные огромные скачки в величине периода). Диаграмма направленности такого искусственного пульсара должна быть «ножевая», что-нибудь $5^\circ \times 0^\circ,1$, вытянутая по галактической широте. Это, как легко сообразить, нужно для того, чтобы существенная часть звезд галактики попадала бы в лепесток. Период мог бы быть, например, порядка нескольких суток. Тогда для того, чтобы на расстоянии в 10 килопарсек поток от пульсара на сантиметровом диапазоне был бы равен 10^{-26} *вт/Мгц* (предел полноты обзора источников), нужно, чтобы его мощность была бы в миллион раз меньше мощности солнечного излучения. Развитие радиоастрономии в ближайшие годы еще снизит этот предел в десятки раз.

Похоже на то, что если и есть во Вселенной цивилизации II типа, то в радиодиапазоне их обнаружить нельзя.

Что касается цивилизаций III типа, то они могли бы быть уже сейчас в принципе обнаружены существующими наземными радиоинтерферометрами с межконтинентальными базами. Кто знает, может быть какой-нибудь из внегалактических источников, занесенных в существующие каталоги, в действительности является цивилизацией III типа? Только длительные специальные интерферометрические исследования смогут решить эту проблему. Трудность проблемы в этом случае состоит в выборе для специальных исследований каких-либо «подозрительных» источников из многих тысяч известных метагалактических источников. В свое время (1963—1964) такими подозрительными источниками Н. С. Кардашев считал объекты СТА 102 и СТА 21. Вскоре, однако, выяснилось, что эти объекты являются квазарами. С тех пор аналогичных попыток не предпринималось.

Сооружение гигантских космических радиоинтерферометров с базисом порядка астрономической единицы открывает возможность эффективного использования нового, принципиально важного метода для обнаружения и исследования сверхцивилизаций. Речь идет о «радиоголографии» — получении трехмерных изображений радиоисточников. На эту возможность впервые указал Ю. Н. Парийский. Не подлежит сомнению, что трехмерное изображение какого-либо «подозрительного» радиоисточника однозначно позволит решить вопрос об его искусственном или естественном происхождении. При всей кажущейся фантастичности этого проекта он будет реализован в течение ближайших нескольких десятилетий.

Сверхцивилизации III и даже II типа, естественно, обладают такими технологическими возможностями, которые цивилизации, так сказать, «младенческого» типа почти невозможно представить. Как иллюстрацию фантастических возможностей сверхцивилизаций, мы рассмотрим сейчас в высшей степени смелую гипотезу Н. С. Кардашева, которую он доложил на международном симпозиуме в Бюракане в сентябре 1971 г. Суть гипотезы Н. С. Кардашева состоит в следующем. В гл. 4 мы подробно рассказывали об увлекательной проблеме «черных дыр» — едва ли не важнейшей проблеме современной астрономии. Следует иметь в виду, что «черные дыры» могут образовываться не только при катастрофическом сжатии достаточно массивной звезды. Любое гравитирующее тело может в принципе образовать «черную дыру». Для этого оно должно быть «только» сжато до соответствующих размеров. Радиус так называемой «сферы Шварцшильда», окружающей «черную дыру», зависит только от его массы. Напомним формулу, дающую эту зависимость:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}.$$

Если, например, масса тела равна массе земного шара, то из этой формулы следует, что r_g близко к одному сантиметру. Если

же масса тела близка к массе Юпитера, r_g будет порядка нескольких метров. В принципе можно себе представить, что цивилизация II типа может какую-либо из больших планет, входящих в ее систему, «переделать» в ... черную дыру. Зачем это может понадобиться, будет видно из дальнейшего.

Если масса тела весьма велика, например, близка к сотням миллионов солнечных масс, r_g будет $\sim 10^{14}$ *см*, т. е. будет иметь размер Солнечной системы. Заметим, что при этом средняя плотность такой «черной дыры» будет невелика, около 1 *г/см*³, в то время как плотности «черных дыр», образовавшихся при катастрофическом сжатии звезд, превышают ядерную плотность (т. е. 10^{14} *г/см*³). Черные дыры с массой порядка сотен миллионов солнечных масс могут существовать в центральных областях некоторых галактик. В гл. 6 мы уже рассматривали проблему галактических ядер. Не исключено, что в некоторых таких ядрах могут образовываться и длительно существовать черные дыры. Таким образом, сверхцивилизация III типа может по вполне естественным причинам иметь в центре своей преобразованной разумом галактики черную дыру.

Н. С. Кардашев проанализировал ряд глубоких парадоксов, связанных с проблемой черных дыр. Ему принадлежит заслуга связи проблемы черных дыр с проблемой развития сверхцивилизаций. Он рассматривает черные дыры как фундаментальные особенности в структуре пространства — времени, которые в принципе могут быть использованы сверхцивилизациями для своего дальнейшего развития и неограниченной экспансии.

Как уже подчеркивалось в гл. 4, внешний наблюдатель никогда не обнаружит, что какое-нибудь тело (например, космическая автоматическая станция), двигаясь по направлению к черной дыре, пересечет ее шварцшильдовский радиус. По часам внешнего наблюдателя для этого потребовалось бы бесконечно большое время. Но для наблюдателя (или эквивалентного кибернетического устройства), находящегося на движущемся по направлению к черной дыре космическом корабле для того, чтобы «окунуться» внутрь шварцшильдовского радиуса, потребуется конечное и, может случиться, даже короткое время. Такой «сопутствующий» наблюдатель уже после пересечения шварцшильдовского радиуса будет продолжать «видеть» внешнюю Вселенную, откуда он прибыл.

В рамках простой модели любая масса, в которой произошел гравитационный коллапс, будет неограниченно сжиматься в точку. Однако в реальных условиях положение может сильно отличаться от идеальной схемы. Например, коллапсирующее тело может обладать электрическим зарядом и находиться в состоянии вращения. Скорость вращения будет быстро увеличиваться по мере сжатия тела. Качественно можно понять, что развивающиеся при этом центробежные силы в принципе могут остановить неограниченное сжатие тела. Это означает, что «сопутствующий» наблюдатель, «нырнув» под шварцшильдовский радиус, где-то там остановится. Все это время, как указывалось выше, «сопутствующий» наблюдатель мо-

жет наблюдать внешнюю Вселенную. Незадолго до остановки он будет видеть внешнюю Вселенную при сильном красном смещении. Затем красное смещение уменьшится, станет равным нулю, после чего «сопутствующий» наблюдатель начнет наблюдать Вселенную со все растущим фиолетовым смещением. Расчеты показывают, что при этом количество падающей на «сопутствующего» наблюдателя лучистой энергии будет конечно. Это означает, что никакой катастрофы ни с наблюдателем, ни с его космическим кораблем не произойдет. Но — и это самое важное — сопутствующий наблюдатель за короткое время (по его часам) увидит, находясь внутри шварцшильдовской сферы, все будущее Вселенной!

Что будет потом? В момент остановки внутри шварцшильдовской сферы наблюдатель перестанет видеть ту Вселенную (в ее далеком будущем!), из которой он «выскочил». После этого «сопутствующий» наблюдатель начнет двигаться наружу и через некоторое время (по его часам) опять пересечет шварцшильдовскую сферу. И тогда он увидит какую-то совершенно другую Вселенную. Таким образом, Мир состоит из большого количества Вселенных, одна из которых — наша. Подчеркнем, что это, конечно, одно из возможных представлений Мира. Выражаясь языком геометрии, мир представляет разветвленное многосвязное многообразие.

«Выскочив» в «новую» Вселенную, наблюдатель увидит поначалу бесконечно большое фиолетовое смещение, которое будет постепенно уменьшаться, стремясь к нулю. За это время сопутствующий наблюдатель (который теперь по праву может быть назван пространственно-временны́м путешественником) увидит всю прошлую историю новой Вселенной, где он таким удивительным образом оказался. Внешний наблюдатель в этой новой Вселенной увидит это явление как нечто противоположное «черной дыре». Это явление («вылупление» материального тела из-под гравитационного радиуса) по справедливости может быть названо «белой дырой». Интересно отметить, что внешний наблюдатель в другой Вселенной сможет увидеть нашего пространственно-временно́го путешественника даже тогда, когда он находится под гравитационным радиусом и продвигается наружу, в то время как «наша» Вселенная ему видна не будет.

Основной парадокс в этой увлекательной гипотезе состоит в том, что для внешнего наблюдателя протекает бесконечно большое время, в то время как для «сопутствующего» — конечное. Решение этого парадокса состоит в предположении о многосвязности мира, о чем речь шла выше.

Таким образом, открывается поистине фантастическая возможность «перепрыгивать» из одной Вселенной в другую. По аналогии можно предположить, что и в нашей Вселенной время от времени могут появляться «белые дыры» и — кто знает — разумные посланцы каких-то других Вселенных. В принципе можно себе представить, что сверхцивилизации могут либо искусственно соорудить черные дыры, либо использовать естественные черные дыры в галактических

ядрах, для быстрого продвижения по пространству — времени и неограниченного познания Мира. Это открывает совершенно новые перспективы и возможности для сверхцивилизаций.

От гипотезы Н. С. Кардашева буквально захватывает дух! Писатели-фантасты весьма туманно предвидели возможность таких пространственно-временных путешествий. Вспомним хотя бы замечательный роман Кларка «Одиссея 2001 года», по которому поставлен обошедший все экраны мира фильм. Там, если помнит читатель, для таких фантастических путешествий существовала некая полумистическая установка на спутнике Сатурна Титане ...

Это просто поразительно, как современная наука оказывается неизмеримо богаче любой фантастики. Кларку, например, не могла прийти в голову поразительная идея о возможности увидеть всю будущую историю нашей Вселенной, может быть, за несколько минут или даже долей секунды. Я уже не говорю о строго научном обосновании таких пространственно-временных транспортировок, какое дано Н. С. Кардашевым.

Что и говорить — ученым XXI и последующих столетий будет над чем поработать ...

26

Некоторые замечания общего характера

В этой главе мы рассмотрим несколько вопросов, носящих в значительной степени философский характер. Попытка ответить на эти вопросы, конечно, является дискуссионной. Но, во всяком случае, было бы неправильно обходить их молчанием.

Прежде всего, необходимо остановиться на следующем. Неоднократно приходится слышать высказывания, что тезис об ограниченности «психозойской эры» (т. е. эры разумной жизни) на планетах якобы является «проповедью пессимистического материализма». Необходимо заметить, однако, что с философской точки зрения само сочетание слов «пессимистический» и «материализм» представляется абсурдным. Основой материалистической философии является признание объективно существующего вне и независимо от нашего сознания материального мира. Разумные существа познают объективные закономерности существующего вне их сознания материального мира. Нелепо считать эти закономерности «пессимистическими» или «оптимистическими». Уже само по себе понимание закономерностей развития материального мира является источником подлинного оптимизма. Ибо невежество есть идеальная питательная среда для пессимизма и мракобесия.

Ничего «пессимистического» как в утверждении о неизбежной гибели каждого индивидуума, так и в утверждении о неизбежной гибели общества разумных существ, конечно, нет. Подобно тому как гибель отдельного индивидуума не останавливает развития общества, гибель цивилизации на какой-нибудь планете не означает прекращения развития разумной жизни во Вселенной. Подобно тому как деятельность каждого отдельного индивидуума привносит определенный, хотя, конечно, и очень маленький, вклад в развитие общества, развитие цивилизации на какой-нибудь планете может дать вклад в общее развитие разумной жизни в масштабах Вселенной. Наконец, подобно тому как участие индивидуума в развитии общества немыслимо без контактов его с другими индивидуумами, вклад данной цивилизации в развитие разумной

жизни во Вселенной возможен только при условии контактов ее с другими инопланетными цивилизациями.

Вывод об ограниченности сроков существования разумной жизни на планетах как неизбежное следствие диалектики развития Вселенной был сделан еще Энгельсом. Он писал: «Вот вечный круговорот, в котором движется материя,— круговорот, который завершает свою траекторию лишь в такие промежутки времени, для которых наш земной год уже не может служить достаточной единицей измерения; круговорот, в котором время наивысшего развития, время органической жизни и, еще более, время жизни существ, сознающих себя и природу, отмерено столь же скудно, как и то пространство, в пределах которого существует жизнь и самосознание; круговорот, в котором каждая конечная форма существования материи — безразлично, солнце или туманность, отдельное животное или животный вид, химическое соединение или разложение — одинаково преходяща и в котором ничто не вечно, кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов ее движения и изменения. Но как бы часто и как бы безжалостно ни совершался во времени и в пространстве этот круговорот; сколько бы миллионов солнц и земель ни возникало и ни погибало; как бы долго ни длилось время, пока в какой-нибудь солнечной системе и только на одной планете не создались условия для органической жизни; сколько бы бесчисленных органических существ ни должно было раньше возникнуть и погибнуть, прежде чем из их среды разовьются животные со способным к мышлению мозгом, находя на короткий срок пригодные для своей жизни условия, чтобы затем быть тоже истребленными без милосердия,— у нас есть уверенность, что материя во всех своих превращениях остается вечно одной и той же, что ни один из ее атрибутов никогда не может быть утрачен и что поэтому с той же самой железной необходимостью, с какой она когда-нибудь истребит на земле свой высший цвет — мыслящий дух, она должна будет его снова породить где-нибудь в другом месте и в другое время» *).

Как видим, высказывание Энгельса по этому кардинальному вопросу носит совершенно недвусмысленный характер.

Однако для проблем, связанных с разумной жизнью во Вселенной, существенное значение имеет не столько вывод об ограниченности существования во времени инопланетных цивилизаций, сколько вопрос о порядке величины длительности эры технологического развития. Ведь если последняя ограничена только космогоническими и даже космологическими факторами, то цивилизации могут существовать несколько миллиардов лет. Практически это говорило бы, что цивилизации, возникшие на какой-нибудь планете, существовали бы там в е ч н о. Следовательно, вероятность того, что около подходящей звезды имеется разумная жизнь, была бы максимальной. Но, как мы видели в гл. 19, 20 и 21, имеются серьезные

*) Ф. Э н г е л ь с. Введение к «Диалектике природы». К. М а р к с и Ф. Э н г е л ь с. Избранные произведения. Т. II, М., Госполитиздат, 1955, стр. 68—69.

основания полагать, что длительность существования технологически развитых цивилизаций на много порядков меньше. В настоящее время подавляющее большинство исследователей стоит за «короткую» и даже «очень короткую» шкалу времени существования технологически развитой цивилизации. Однако в связи с поразительными успехами кибернетики, автоматики и молекулярной биологии этот вопрос, по нашему мнению, должен быть пересмотрен.

На протяжении 3-й части этой книги мы неоднократно применяли термин «разумная жизнь», считая его элементарным, т. е. не требующим специального определения. Между тем это далеко не так. В самом деле, что такое «разумное существо»? На этот вопрос можно попытаться ответить так: разумным мы называем такое существо, которое обладает способностью к мышлению. Ну, а что такое мышление? Здесь мы сталкиваемся с теми же трудностями в определении этого понятия, что и в случае определения понятия «жизнь». Ведь единственно известной нам формой мышления является мышление человека. Определение понятий «мышление» и «разумная жизнь» неявно всегда сводилось к описанию конкретных особенностей человеческого мышления, представляющего собой специфическую деятельность мозга.

Но, как подчеркивает А. Н. Колмогоров, в настоящее время такое определение уже не является удовлетворительным по двум причинам. Во-первых, в наше время интенсивного развертывания космических исследований имеется принципиальная возможность встречи с такими формами существования высокоорганизованной материи, которые обладают всеми основными свойствами не только живых, но и мыслящих существ и которые могут существенно отличаться от земных форм. Во-вторых, бурное развитие кибернетики открыло в принципе ничем не ограниченную возможность моделирования любых, сколь угодно сложных материальных систем.

По этим двум причинам в настоящее время имеется острая необходимость дать такое определение понятия «мышление», которое было бы не связано с какими бы то ни было конкретными представлениями о физической природе процессов, лежащих в основе мышления. Следовательно, так же как и в случае понятия «жизнь», необходимо функциональное определение понятия «мышление».

Последовательное развитие «функциональной» точки зрения на жизнь и мышление приводит к удивительному выводу, имеющему, на наш взгляд, исключительно большое значение для проблемы развития разумной жизни во Вселенной. Как указывает А. Н. Колмогоров, «...моделирование способа организации материальной системы не может заключаться ни в чем ином, как в создании из других материальных элементов новой системы, обладающей в существенных чертах той же организацией, что и система моделируемая. Поэтому достаточно полная модель живого существа по справедливости должна называться живым существом, модель мыслящего

существа — мыслящим существом» *). Таким образом, кибернетика обосновывает принципиальную возможность создания искусственных живых и даже мыслящих существ.

Этот вопрос настолько важен, что мы на нем остановимся немного подробнее. Лучше всего будет, если мы процитируем соответствующие высказывания А. Н. Колмогорова:

«Общеизвестен интерес к вопросам:

Могут ли машины воспроизводить себе подобных и может ли в процессе такого самовоспроизведения происходить прогрессивная эволюция, приводящая к созданию машин, существенно более совершенных, чем исходные?

Могут ли машины испытывать эмоции? Могут ли машины хотеть чего-либо и сами ставить перед собой новые задачи, не поставленные перед ними их конструкторами?

Иногда пытаются обосновать отрицательный ответ на подобные вопросы при помощи:

а) ограничительного определения понятия «машина»,

б) идеалистического толкования понятия «мышление», при котором легко доказывается неспособность к мышлению не только машин, но и человека...

...Однако важно отчетливо понимать, что в рамках материалистического мировоззрения не существует никаких состоятельных принципиальных аргументов против положительного ответа на наши вопросы. Этот положительный ответ является современной формой положения о естественном возникновении жизни и материальной основе создания ...

Принципиальная возможность полноценных живых существ, построенных полностью на дискретных (цифровых) механизмах переработки информации и управления, не противоречит принципам материалистической диалектики. Противоположное мнение может возникнуть у специалистов по философии математики лишь потому, что они привыкли видеть диалектику лишь там, где появляется бесконечное. При анализе явлений жизни существенна не диалектика бесконечного, а диалектика большого (чисто арифметическая комбинация большого числа элементов создает и непрерывность и новые качества)».

Мы привели эту длинную цитату из работы выдающегося математика только потому, что, на наш взгляд, нельзя лучше выразить суть дела. Вместе с тем А. Н. Колмогоров предупреждает против упрощенческих трактовок принципиальной проблемы возможности создания искусственных разумных существ. Пока еще кибернетика осмыслила лишь малую часть деятельности человеческого сознания. В какой-то степени поняты лишь механизм условных рефлексов и механизм формально-логического мышления. Предстоит еще огромная работа по объективному изучению в «терминах кибернетики»

---

*) А. Н. Колмогоров. Жизнь и мышление с точки зрения кибернетики. М., 1961. Все дальнейшие цитаты приводятся из этого источника.

всех тонких видов творческой деятельности человека и других аспектов высшей нервной деятельности, пока еще во многих отношениях загадочной. А. Н. Колмогоров указывает, что «...серьезное объективное изучение высшей нервной деятельности человека во всей ее полноте представляется необходимым звеном в утверждении материалистического гуманизма. Развитие науки многократно приводило к разрушению привычных для человека иллюзий, начиная с утешительной веры в личное бессмертие. На стадии полузнания и полупонимания эти разрушительные выводы науки становятся аргументами против самой науки, в пользу иррационализма и идеализма. Дарвиновская теория происхождения видов и павловское объективное изучение высшей нервной деятельности неоднократно изображались как принижающие высшие стремления человека к созданию моральных и эстетических идеалов. Аналогично, в наше время страх перед тем, как бы человек не оказался ничем не лучше «бездушных автоматов», делается психологическим аргументом в пользу витализма и иррационализма».

Итак, принципиально возможно создание искусственных мыслящих существ, способных к самоусовершенствованию. Современная фантастическая литература изобилует образами механических искусственных людей — роботов. Обычно их изображают в виде карикатурно сходной по внешнему виду с человеком совокупности шарниров, электронных ламп и прочих «индустриальных» атрибутов. Однако еще замечательный чешский писатель Карел Чапек, придумавший само слово «робот» в пьесе «Рур», изображал их вполне человекоподобными существами, изготовленными из белков... Очень вероятно, что, когда человечество до конца разгадает тайны сложного химического производства — синтеза белков из аминокислот при помощи и «под управлением» нуклеиновых кислот ДНК и РНК, живые искусственные организмы (в том числе и разумные) будут иметь вполне «естественный» внешний вид...

Впрочем пока еще преждевременно гадать, как они будут выглядеть. Нужно ясно понимать, что современная нам наука и техника пока еще не могут синтезировать даже сравнительно простые живые организмы. Однако мы сейчас находимся на пороге этого важнейшего этапа в развитии биологии. Следует также помнить, что принципиальная возможность создания живого мыслящего существа — это еще не есть реальная, практическая возможность. На этом пути несомненно встретятся огромные трудности. Некоторые из таких трудностей намечаются уже сейчас. В частности, А. Н. Колмогоров, хотя и считает, что для моделирования работы человеческого мозга, связанной непосредственно с проявлениями высшей человеческой культуры (науки, искусства, социальных чувств), достаточно оперировать со сравнительно небольшим количеством информации порядка 10^7 — 10^9 двоичных единиц (в то время как обычно считают, что число таких единиц должно быть порядка 10^{12}—10^{15}), однако

указывает на одну фундаментальную трудность. Эта трудность будет состоять в большой сложности той программы, которая должна привести в действие автомат, моделирующий человеческий мозг. Конечно, в принципе сложную программу, которая обеспечивает достаточно быстрое решение некоторой задачи автоматом, можно получить при помощи другого автомата, куда будет вводиться простая программа.

Однако такой автомат будет вычислять сложную программу очень долго. Пока неясны пути преодоления этой, а также и других трудностей, возникающих в проблеме создания искусственной разумной жизни.

Имеются, однако, основания полагать, что бурное развитие кибернетики в гармоническом сочетании с развитием молекулярной биологии и наук о высшей нервной деятельности в конечном итоге позволит создать искусственные разумные существа, принципиально не отличающиеся от естественных, но значительно более совершенные, чем они, и способные к дальнейшему самоусовершенствованию. Очень, например, вероятно, что такие существа будут значительно более долгоживущими, чем естественные. Ведь старение организмов вызвано, по-видимому, постепенным накоплением различного рода нарушений в «печатающей» схеме ДНК клеток. Эта «схема» с течением времени как бы «стирается». Но вполне вероятно, что искусственные «матрицы» ДНК можно сделать гораздо более «прочными» и «стабильными».

Искусственный разум как новый, фундаментальной важности космический фактор был предметом обсуждения на Бюраканском симпозиуме по внеземным цивилизациям. Автор этой книги подчеркивал, что возникновение искусственного разума, по-видимому, является высшим этапом развития материи во Вселенной. Основные этапы этого развития можно представить в виде последовательности: неживая эволюционирующая материя → живая материя → естественные разумные существа → искусственные разумные существа. Похоже, что эра естественных разумных существ может быть сравнительно кратковременным, переходным этапом в развитии материи во Вселенной. Например, уже сейчас очевидно, что они малопригодны (или, точнее, совсем непригодны) для серьезной колонизации космоса и весьма длительных космических полетов. «Нормальная» эволюция жизни на Земле такие ситуации, конечно, не могла предусмотреть. Вряд ли подлежит сомнению, что носителям цивилизации III и даже II типа могут быть только высокосовершенные кибернетические устройства (или устройство?). Ничего «обидного» для живых мыслящих организмов в этом факте мы не усматриваем.

Нашу точку зрения полностью поддерживал известный американский кибернетик Минский. Он подчеркнул, что за прошедшие 15 лет «разум» наших электронных вычислительных машин улучшился в миллион раз (под «разумом» понимается некоторая комбинация объема памяти и быстродействия). В течение нескольких по-

следующих десятилетий следует ожидать увеличения характеристики «разума» машин еще по крайней мере в несколько десятков тысяч раз. «Разум» таких машин по основным параметрам будет заведомо превосходить разум человека.

Минский особенно подчеркивал тот момент, что искусственные разумные существа (машины) могут быть очень маленькими и компактными. Они могут длительно существовать в космическом пространстве, эффективно осваивая и преобразуя его.

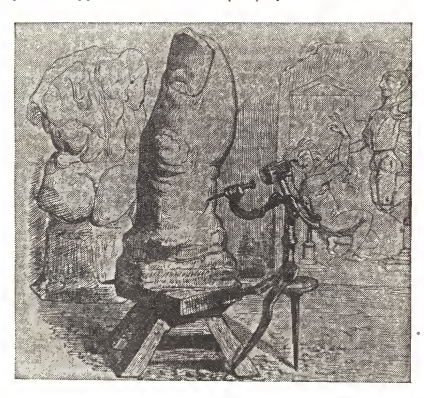


Рис. 59. Известный французский график Гранвиль, живший в середине XIX в., как видно из этого рисунка, предвидел «мирное сосуществование» естественных и искусственных разумных существ.

Очень может быть, например, что с течением времени само подразделение разумных существ на «естественные» и «искусственные» утратит всякий смысл. Поразительные успехи молекулярной биологии и кибернетики постепенно приведут к коренному изменению биологических характеристик разумных существ путем целесообразного синтеза «естественных» и «искусственных» организмов и их частей. Подобно тому как мы сейчас широко пользуемся искусственными протезами (например, зубами), не отделяя их от своего «я»,

разумные существа будущего в значительной, если не в большей, части могут состоять из искусственных элементов. Наконец, в принципе представляется вполне возможным появление высокоорганизованных, разумных, самоусовершенствующихся неантропоморфных форм жизни.

Мы приходим, таким образом, к весьма важному для нас выводу: появление искусственных разумных существ должно ознаменовать новый, качественно отличный от предыдущих, этап развития материи. В частности, нельзя исключить возможность, что цивилизации искусственных высокоорганизованных разумных существ будут весьма долгоживущими. Можно представить даже, что отдельные искусственные разумные существа могут жить много тысяч лет и даже дольше. Следовательно, для них не существует специфической трудности, характерной для межзвездной радиосвязи, заключающейся в крайней «медленности» таких «переговоров». Это, конечно, может значительно повысить интерес у этих существ к установлению и поддержанию межзвездной радиосвязи. Кроме того, долголетие астронавтов сделает совершенно необязательными полеты межзвездных ракет с почти световыми скоростями (по крайней мере, если говорить о прямых контактах между сравнительно близкими инопланетными цивилизациями). Наконец, нельзя исключить и того, что для таких полетов будут «изготовляться» высокоспециализированные разумные существа, способные, с одной стороны, сравнительно легко переносить трудности полета, с другой— лучше всего выполнять поставленную перед ними задачу. Естественно, что при таком положении провести четкие грани между специализированным автоматом и искусственным живым, разумным существом уже нельзя. Может быть, даже шкала времени их технологического развития будет близка к космогонической.

Следовательно анализируя проблемы связи между инопланетными цивилизациями, необходимо учесть, что сама разумная жизнь в масштабе Вселенной может в процессе своего развития претерпеть качественные изменения. Это не учитывает, в частности, фон Хорнер, который существенным образом исходит в своих теоретико-вероятностных расчетах из представления, что земная разумная жизнь — типичное явление.

В связи с возможностью синтеза живого вещества (не обязательно разумного) из неживого возникает большое количество острых проблем. Остановимся, например, на таком вопросе. Коль скоро не существует принципиального различия между жизнью естественной и жизнью искусственной, нельзя исключить возможность того, что жизнь на некоторых планетах может иметь искусственное происхождение. Так, например, небезынтересно в порядке гипотезы обсудить возможность занесения живых спор и микроорганизмов во время посещения безжизненной планеты недостаточно стерилизованным инопланетным космическим кораблем. Можно также высказать гипотезу гораздо более радикального свойства: жизнь на некоторых планетах могла возникнуть как резуль-

тат сознательного эксперимента высокоорганизованных космонавтов, некогда посетивших эти планеты, которые в те времена были безжизненны. Можно даже предположить, что подобное «насаждение жизни», так сказать, «в плановом порядке» является нормальной практикой высокоразвитых цивилизаций, разбросанных в просторах Вселенной. Вместо того чтобы пассивно ожидать «естественного», самопроизвольного возникновения жизни на подходящей планете — процесса, возможно, весьма маловероятного, высокоразвитые галактические цивилизации как бы планомерно сеют посевы жизни во Вселенной...*). Если это так, то вероятность обитаемости планетных систем в Галактике может быть увеличена на много порядков. Наконец, чтобы быть последовательным, нужно еще учитывать возможность заселения планет, на которых существуют подходящие условия, разумными существами — искусственными или естественными.

Если учитывать все описанные возможности «экспансии» разумной жизни во Вселенной, ее основной тенденции к неограниченному количественному и качественному развитию, то число одновременно существующих инопланетных цивилизаций в Галактике может значительно превышать оценки фон Хорнера и других авторов.

Разумеется, сделанные предположения носят самый общий характер. Мы далеки от утверждения, что имеются какие бы то ни было конкретные научные аргументы в пользу вывода, что жизнь на Земле, тем более разумная жизнь, имеет искусственное происхождение. Наша цель — обратить внимание на возможность такого явления в масштабах Вселенной и на те следствия, которые из него вытекают.

В заключение остановимся еще на одном вопросе, который, по нашему мнению, может иметь серьезное значение для проблемы межзвездной связи при помощи электромагнитных волн. Ведь может так случиться, и притом с большой вероятностью, что технически развитая цивилизация окажется неспособной синтезировать высокоорганизованную, способную к дальнейшему самоусовершенствованию, искусственную жизнь. И вполне может быть, что для таких цивилизаций по причинам, заложенным в основе их развития, длительность стадии технологического развития окажется сравнительно небольшой, например того же порядка, что принятая фон Хорнером. Тогда логически можно представить следующую ситуацию. Высокоразвитая цивилизация создает достаточно большой искусственный спутник, который выводится на практически «вечную» орбиту. Это значит, что он сможет существовать по крайней мере многие сотни миллионов лет. Очевидно, это можно сделать, если орбита почти круговая, а радиус ее достаточно велик.

Такой спутник может представлять собой весьма совершенное автоматическое устройство, на котором имеются мощные радиопе-

*) Недавно Крик (тот самый...) и Оргелл повторили нашу гипотезу на страницах журнала «Икарус», т. 19, № 3 за 1973 г.

редатчики и достаточно чувствительные приемники. Источником энергии для аппаратуры такой автоматической станции может быть либо излучение звезды, либо термоядерная энергия, освобождаемая автоматически. Мощные радиопередатчики, установленные на спутнике, будут по определенной программе посылать модулированные сигналы, причем направления посылки сигналов могут быть также запрограммированы. С другой стороны, может быть запрограммирована система ответа на сигнал из космоса, если он, конечно, будет «пойман» приемной аппаратурой автоматической станции. Очевидно, такая автоматическая система может вполне обеспечить двустороннюю радиосвязь между инопланетными цивилизациями. Основная задача, которая будет стоять перед строителями такой автоматической станции-спутника,— обеспечить долговечность работы находящейся там аппаратуры. Здесь возникнут, конечно, огромные трудности.

Например, нелегко будет найти достаточно надежную защиту от метеорной опасности, которая действовала бы в течение сотен миллионов лет.

В чем смысл сооружения таких спутников — автоматических станций межзвездной связи? В том, что они могут оказаться существенно долговечнее, чем «породившая» их цивилизация. Может так случиться, что цивилизация давно уже прекратит свое существование или выродится, а накопленные ею сокровища науки и культуры сотни миллионов лет на модулированных электромагнитных волнах (например, на волне 21 *см*) будут распространяться до отдаленных областей Галактики. И когда-нибудь эти сигналы, может быть, будут уловлены. Тем самым давно исчезнувшая цивилизация внесет свою лепту в сокровищницу разума Великого Кольца. Не так ли мы черпаем свои знания из книг давно умерших авторов?

Конечно, автоматическая станция, непрерывно посылающая сигналы связи к другим неизвестным мирам, может быть расположена и не на искусственном спутнике. Однако, по-видимому, трудно будет оградить такую станцию от разрушительного действия тектонических процессов в течение сотен миллионов лет — ведь планета будет продолжать «дышать» и после исчезновения с ее лица цивилизации. Наконец, в эпохи упадка и разрушения цивилизации, пожалуй, безопаснее будет для такой станции находиться на спутнике ...

Так или иначе, при расчете возможных условий радиосвязи с инопланетными цивилизациями необходимо считаться с тем фактом, что источники сигналов, несущих информацию, могут быть значительно долговечнее соответствующих цивилизаций. Это обстоятельство может значительно увеличить вероятность установления контактов.

27

Бюраканский симпозиум

Пожалуй, такого симпозиума еще не бывало. И дело не только в том, что он был весьма представительным (среди участников симпозиума, например, было несколько нобелевских лауреатов). Необычность симпозиума была связана с необычностью самого предмета обсуждения: связь с внеземными цивилизациями или сокращенно «CETI» (начальные буквы английского предложения «Communication extra-terrestrial Intelligence»). Этот симпозиум происходил с 5 по 11 сентября 1971 г. на Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР. Трудно было выбрать лучшее место для такого свободного собеседования. Ошеломляющая красота и величие Арарата, видного прямо с балконов здания, где происходил симпозиум, живо напоминала участникам симпозиума о древних цивилизациях, которые некогда здесь процветали. Нас окружал великолепный ансамбль обсерватории — наглядное свидетельство выдающихся достижений культуры возрожденного армянского народа за последние десятилетия.

Превосходная организация симпозиума — заслуга руководства Армянской Академии наук — обеспечила деловую, непринужденную и дружескую атмосферу дискуссий. По существу, симпозиум был советско-американский, хотя в его работе принимало участие несколько ученых из других стран. Поражала пестрота научных специальностей участников симпозиума. Здесь были астрономы и физики-теоретики, историки и социологи, биологи и кибернетики. Не было журналистов и вообще представителей прессы — участники симпозиума занимались деловым обсуждением большого количества важных проблем и атмосфера сенсаций и газетной шумихи могла только помешать работе симпозиума. Участников симпозиума было около 50, из которых примерно половина прибыла из США. Вообще следует заметить, что подобные советско-американские совместные научные конференции — явление весьма редкое. Несомненно, они чрезвычайно полезны для развития науки.

Помимо двух заседаний, ежедневно участники симпозиума имели богатую возможность для неофициальных и неформальных



Рис. 60. На Бюраканском симпозиуме. Ф. Дайсон (слева) и Н. С. Кардашев.



Рис. 61. На Бюраканском симпозиуме (справа налево: М. Минский, Ч. Таунс, Ф. Моррисон, К. Саган и Ф. Крик).

научных дискуссий, которые стихийно возникали за чашкой кофе и в обеденные перерывы. Как это часто бывает, частенько такие импровизации были не менее полезны, чем официально заявленные доклады.

Для проблемы, которой посвящена эта книга, работа Бюраканского симпозиума имела огромное значение. Участники симпозиума с самых разных точек зрения осветили различные стороны комплексной проблемы внеземных цивилизаций и сделали попытку подвести итоги состояния этого вопроса. Кроме того, и это, пожалуй, самое важное, были намечены пути для дальнейших исследований. Живой контакт между представителями столь различных наук, объединенных интересом к нашей проблеме, был исключительно полезен.



Рис. 62. На Бюраканском симпозиуме. Группа участников.

Заседания симпозиума происходили в очень красивом и удобном конференц-зале Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР. На первом заседании с интересным вводным докладом выступил директор этой обсерватории президент Академии наук Армянской ССР, выдающийся советский астроном академик В. А. Амбарцумян. Он подчеркнул актуальность проблемы внеземных цивилизаций. Успехи науки уже сейчас вплотную подвели нас к конкретному анализу различных сторон этой проблемы. В последующих заседаниях тщательно анализировался чисто астрономический аспект проблемы (см. первую часть этой книги). Основным результатом докладов и оживленных дискуссий

было признание высокой вероятности (если не достоверности) вывода о множественности планетных систем в Галактике. Важный цикл заседания был посвящен труднейшей проблеме происхождения жизни на Земле. Здесь особенно полезным было участие выдающегося английского биолога, лауреата Нобелевской премии проф. Френсиса Крика. Его острые, полные здорового скептицизма выступления и реплики не раз охлаждали некоторые излишне горячие головы... Что и говорить, проблема эта принадлежит к числу труднейших, и сейчас она еще очень далека от решения (см. часть 2). Веселое оживление было на вполне серьезной дискуссии о так называемой «субъективной вероятности» — важном для нашей проблемы понятии, введенном К. Саганом. Так, например, шутливо обсуждался вопрос, какова субъективная вероятность того, что чемодан одного из участников симпозиума, проф. Б. Оливера, пропавший в Лондоне, встретится со своим хозяином в Бюракане... Самое забавное, что чемодан все-таки нашелся, и «пессимисты» были посрамлены... Хотелось бы верить, что аналогичная ситуация повторится и при оценках количества цивилизаций разных типов в Галактике и далеко за ее пределами.

К вопросу о следующем принципиальной важности скачке в развитии материи от простого к сложному — к появлению в результате эволюции жизни разумных существ и, прежде всего, к возникновению языка — Оргкомитет симпозиума отнесся со всей серьезностью. Доклад на эту тему сделал один из ведущих американских антропологов проф. Р. Ли, который прожил несколько месяцев в стае свирепых обезьян бабуинов. Кроме того, проф. Ли длительное время кочевал вместе с племенем бушменов. Эти поражающие воображение эксперименты, по-видимому, серьезно продвинули проблему возникновения человека на Земле. На заключительном банкете проф. Ли приветствовал участников симпозиума на бушменском языке! Совершенно необычные звуки этого языка в сочетании с экзотической природой прекрасного озера Севан произвели сильное впечатление...

Часто возникали дискуссии о путях развития культуры, о возможной потере в будущем интереса к познанию природы и активному воздействию на нее («золотой век», «внутренняя Полинезия» — выступление проф. Г. Стента — см. гл. 22 этой книги).

Но, конечно, центральным вопросом симпозиума было обсуждение проблем межзвездной связи. Содержательные доклады проф. Ф. Дрэйка, Б. Оливера, Ю. Н. Парийского также вызвали оживленные дискуссии. Обсуждались вполне конкретные, технически реализуемые, хотя зачастую и не очень дешевые проекты.

Даже самые «закаленные» из участников симпозиума были поражены смелостью идей Н С. Кардашева о «черных дырах» в связи с проблемой цивилизаций III типа (см. гл. 26 этой книги).

Некоторые результаты интересных дискуссий, имевших место во время Бюраканского симпозиума, включены в эту книгу. На русском и английском языках вышли труды симпозиума, и читатели,

заинтересовавшиеся проблемой внеземных цивилизаций, смогут ознакомиться с большим и интересным материалом.

Мы в этой заключительной главе нашей книги приведем резолюцию первой советско-американской конференции по внеземным цивилизациям, которая подытожила проделанную в Бюракане большую работу. Текст этой резолюции следует ниже.

РЕЗОЛЮЦИЯ ПЕРВОЙ СОВЕТСКО-АМЕРИКАНСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ВНЕЗЕМНЫМ ЦИВИЛИЗАЦИЯМ

С 5 по 11 сентября 1971 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории АН Армянской ССР состоялась первая международная конференция по проблеме внеземных цивилизаций (ВЦ) и связи с ними. На конференции присутствовали компетентные ученые, работающие в различных областях, имеющих отношение к рассматриваемой комплексной проблеме,— астрономы, физики, радиофизики, кибернетики, биологи, химики, археологи, лингвисты, антропологи, историки, социологи. Конференция была организована совместно Академией наук СССР и Национальной Академией наук США с привлечением ученых из других стран.

На десяти заседаниях конференции детально обсуждались многие аспекты проблемы внеземных цивилизаций. Подробному обсуждению были подвергнуты вопросы множественности планетных систем во Вселенной, происхождение жизни на Земле и возможность возникновения жизни на других космических объектах, возникновение и эволюция разумной жизни, возникновение и развитие технологической цивилизации, проблемы поисков сигналов ВЦ и следов астроинженерной деятельности, проблемы установления связей с ВЦ, а также возможные последствия установления контактов с ВЦ.

По ряду конкретных деталей этой проблемы мнения участников конференции не совпадали, но участники согласны с тем, что перспективы контакта с внеземными цивилизациями достаточно благоприятны для того, чтобы оправдать развертывание ряда хорошо подготовленных программ поиска; они также согласны с тем, что существующая технология дает возможность установления контактов с цивилизациями. Некоторые предварительные радиоастрономические поиски уже велись как в США, так и в СССР.

Участники конференции пришли к заключению:

1. Выдающиеся открытия последних лет в области астрономии, биологии, кибернетики и радиофизики превратили некоторую часть проблем внеземных цивилизаций и их обнаружения из чисто умозрительных в экспериментальные и наблюдательные. Впервые в истории человечества появилась возможность вести глубокие и подробные экспериментальные исследования по этой важной фундаментальной проблеме.

2. Эта проблема может оказаться исключительно важной для дальнейшего развития всего человечества. Если когда-нибудь внеземные цивилизации будут открыты, это будет иметь огромное влияние на научный и технологический потенциал человечества, а также может оказать положительное влияние на будущее человечества. Успешное установление связи с внеземной цивилизацией будет иметь такое практическое и философское значение для всего человечества, что попытки установления такой связи заслуживают существенных усилий. Последствия открытия могут способствовать значительному расширению человеческого познания.

3. Технологический и научный потенциал нашей планеты представляется достаточным для начала конкретных исследований в направлении поисков ВЦ. Такие исследования, как правило, дают важные научные результаты даже тогда, когда поиски не приводят к обнаружению ВЦ. Эти исследования в настоящее время могут эффективно проводиться силами научных организаций отдельных стран. Однако уже на данном раннем этапе представляется целесообразным также совместное обсуждение и координация конкретных программ работ и обмен научной информацией. В будущем желательно объединить усилия исследователей различных стран для решения конкретных экспериментальных и наблюдательных проблем. Нам представляется желательным, чтобы поиски ВЦ в конечном итоге велись представителями всех стран.

4. На конференции были детально обсуждены различные проекты поисков внеземных цивилизаций. Реализация наиболее сложных из этих проектов потребует значительного времени и усилий, а также затраты средств, соизмеримых с затратами на космические и ядерные исследования. Однако полезные поиски могут быть начаты в более скромном масштабе.

5. Участники конференции рассматривают как весьма ценные нынешние и предстоящие опыты по поиску жизни на других планетах Солнечной системы с помощью космических средств. Они рекомендуют продолжение и усиление работ в таких областях, как предбиологическая органическая химия, поиски внесолнечных планетных систем и эволюционная биология, которые имеют прямое отношение к проблеме ВЦ.

6. Конференция рекомендует начать новые конкретные исследования, направленные на разработку методов поисков сигналов от ВЦ. Список некоторых таких исследований прилагается.

7. Для координации национальных исследований и для ускорения прогресса в этой области конференция считает необходимым создание международной рабочей группы. Для образования этой группы конференция назначает временную рабочую группу в составе: Ф. Дрэйк (США), Н. С. Кардашев (СССР), Ф. Моррисон (США), Б. Оливер США), Р. Пешек (ЧССР), К. Саган (США), И. С. Шкловский (СССР), Г. М. Товмасян (СССР), В. С. Троицкий (СССР).

8. Участники конференции считают желательным полную и открытую публикацию результатов исследований по этой проблеме

и в качестве шага в этом направлении планируют одновременную публикацию трудов настоящей конференции на русском и английском языках.

9. Поручить временной рабочей группе рассматривать по мере необходимости вопросы о созыве общих или специальных встреч ученых по вопросам внеземных цивилизаций, а также рассмотреть вопрос о возможности издания по мере необходимости периодических сборников по проблеме внеземных цивилизаций.

10. Участники конференции выражают свою глубокую признательность Академии наук Армении за оказанное радушное гостеприимство.

Подписано
от имени участников конференции:

Организационные комитеты
делегаций США и СССР

Итак, программа работ по внеземным цивилизациям намечена. Будем теперь терпеливо ожидать результатов, хотя ждать придется, наверное, очень и очень долго...

Алфавитный указатель

Оглавление

Часть третья

РАЗУМНАЯ ЖИЗНЬ ВО ВСЕЛЕННОЙ



Рис. I. Шаровое скопленне 47 Тукана.



Рис. II. Фотография звездного скопления Плеяд.



Рис. III. Спиральная галактика NGC 5364.



Рис. IV. Туманность Андромеды со спутниками.

Рис. Va. Галактика типа «пересеченной спирали».



Рис. Vб. Галактика NGC 4594.



Рис. Vв. Галактики Магеллановы Облака.

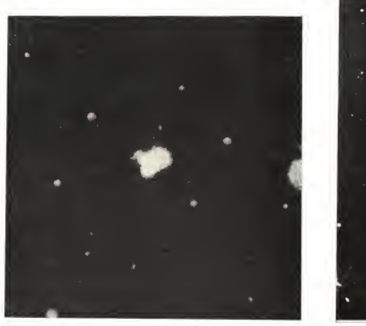


Рис. VI. Радиогалактика Лебедь А.



Рис. VII. Скопление галактик в созвездии Северной Короны.

Рис. VIII. Планетарная туманность NGC 7293.

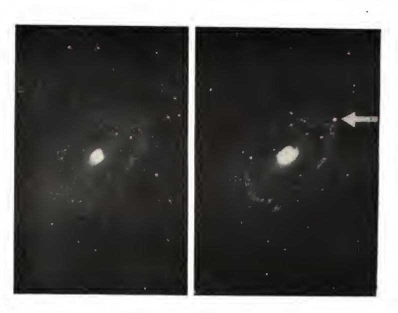


Рис. IX. Вспышка сверхновой в далекой галактике. На правой фотографии, полученной в 1940 г., сверхновая видна, на левой, полученной в 1931 г.— нет.



Рис. X. Крабовидная туманность.



Рис. XI. Туманность IC 443.

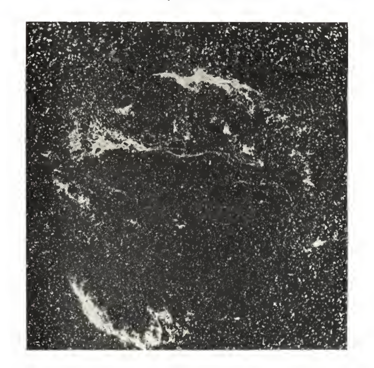


Рис. XII. Волокнистые туманности в созвездии Лебедя.



Рис. XIII. Диффузная туманность.



Рис. XIV. Облачный покров над Калифорнией. Фотография получена со спутника «Нимбус-1».



Рис. XV. Фотография восточных районов США. Получена со спутника «Тирос-7».



Рис. XVI. Южная оконечность Индостана. Фотография получена со спутника «Тирос-5».

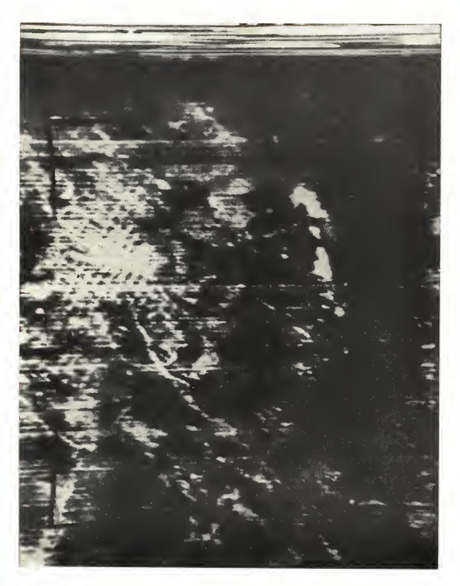


Рис. XVII. Часть территории Канады (штат Онтарио). Фотография получена со спутника «Тирос-2».

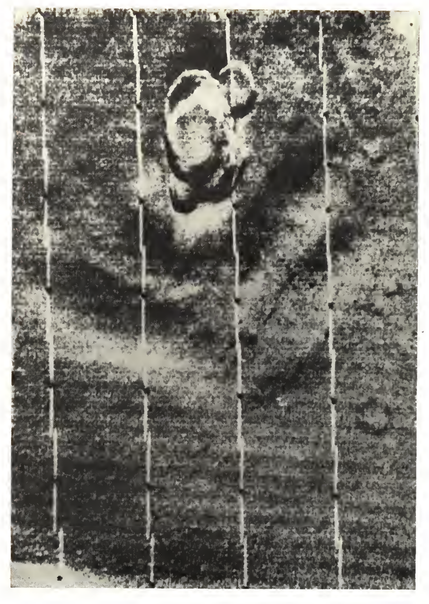


Рис. XVIIIa. Фотографня области иа Марсе, полученная АМС «Маринер-9».

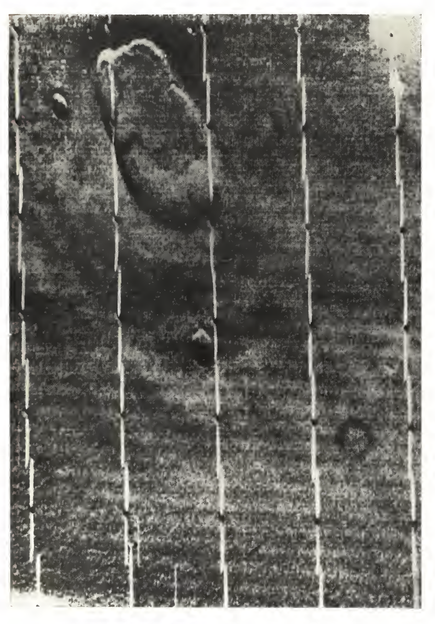


Рис. XVIIIб. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9».



Рис. XVIIIв. Фотография области на Марсе, полученная АМС «Маринер-9».

Рис. XIX. «Высохшее русло реки» на поверхности Марса. Фотография получеиа АМС «Марс-5».



Рис. XX. Таяиие поляриой шапки Марса.

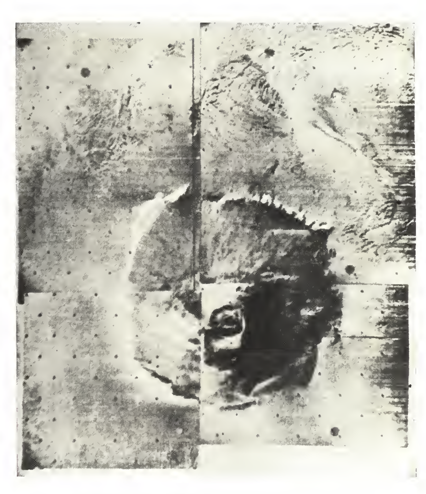


Рис. XXI. Фотография гигантского кратера на Марсе.



Рис. XXII. Снимки Венеры, сделанные АМС «Маринер-10» 10 февраля 1974 г.

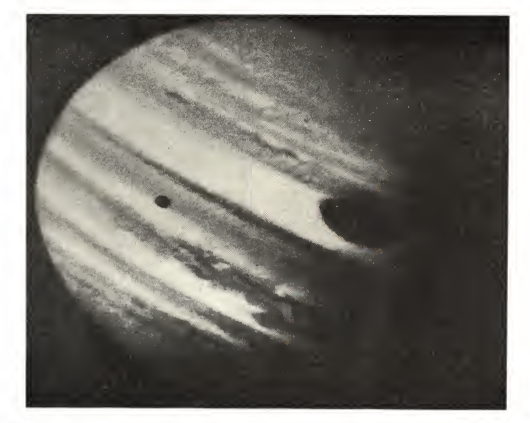


Рис. XXIII. Фотография Юпитера, полученная межпланетной станцией «Пионер-10» 10 декабря 1973 г.



Рис. XXIV. Снимок, доставленный на Землю автоматической станцией «Зонд-6».



Рис. XXV. Фрагмент панорамы, переданной автоматической станцией «Луна-13».



Рис. XXVI. Экипаж «Аполлона-11» на Луне.



Рис. XXVII. Экипаж «Аполлона-11» на Луне.

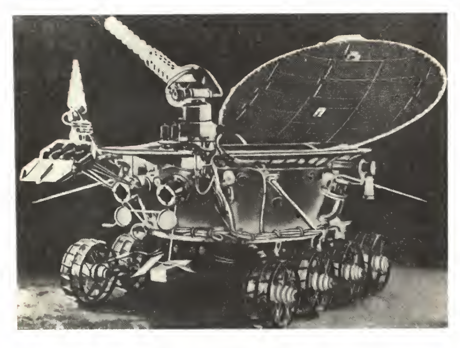


Рис. XXVIII. «Луноход-1».



Рис. XXIX. Фотография Фобоса, полученная АМС «Маринер-9»



Рис. XXX. Фотография Деймоса, полученная АМС «Маринер-9».

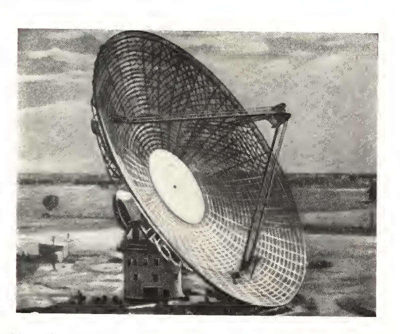


Рис XXXI. Большой австралийский радиотелескоп (диаметр зеркала 66 *м*).



Рис. XXXII. Серпуховский радиотелескоп Физического института Академии наук СССР (диаметр зеркала 22 *м*).

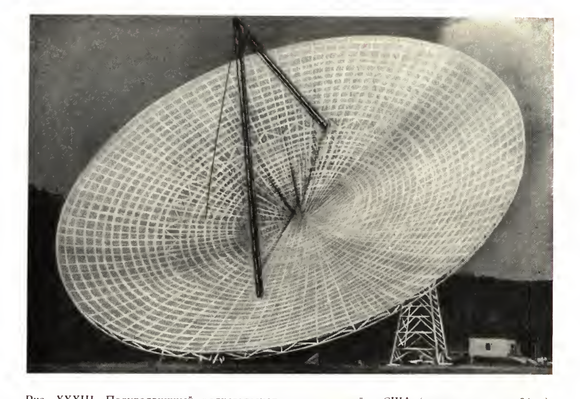


Рис. XXXIII. Полуподвижный радиотелескоп, изготовленный в США (диаметр зеркала 94 *м*).



Рис. XXXIV. Общий вид гигантского радиотелескопа в Пуэрто-Рико.